

 Universidad Pontificia Bolivariana	PRESENTACIÓN INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	VICERRECTORIA ACADÉMICA FO-IP-007
---	---	--

A. INFORMACION GENERAL

Título del trabajo de grado	CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE FIBRA ÓPTICA BASADO EN FIBRA DE POLÍMERO TIPO POF PARA DETECCIÓN DE ALTERACIONES EN LECHE CRUDA
Estudiantes de Trabajo de Grado	César Augusto Bravo Corena 322-268-9584 Bravocorena1@hotmail.com
Director(es):	PhD. Claudia Milena Serpa Imbett
Unidad académica	Programa de Ingeniería Electrónica
Empresa donde realizó el trabajo	Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería
Fecha de inicio	Enero 2018
Fecha de finalización	Octubre 2018
Costo total del proyecto (incluyendo descargas – pago de personal -).	\$2.258.267,77
Montos de contrapartida (Entidad o dependencia que cofinanción).	
Línea de trabajo o área del conocimiento en la cual se inscribió el trabajo	Automática

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

CESAR AUGUSTO BRAVO CORENA

Director(a): PhD CLAUDIA MILENA SERPA IMBETT

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
2018**

DEDICATORIAS

A Dios, por darme salud y por estar conmigo en cada momento de mi vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de estudio.

A mis padres por ser la fuente principal de todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mi directora de tesis Claudia Milena Serpa y al ingeniero Oscar Daniel Pastrana que fueron de gran apoyo a lo largo del proyecto. A mis hermanas, mi novia, todos los familiares y amigos que estuvieron a mi lado siempre.

Este proyecto hace parte de los resultados del proyecto de investigación **Diseño de un sistema pasteurizador de bebidas de flujo continuo utilizando un horno microondas de uso doméstico modificado** del CIDI UPB-Montería.

Cesar Bravo

ÍNDICE:

INFORMACIÓN GENERAL.....	1
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE.....	12
1.1 Leche cruda.....	12
1.2 Conservantes.....	12
1.2.1Formaldehido.....	12
1.2.2Peróxido de hidrogeno.....	12
1.2.3Carbonato sódico.....	13
1.3 Fibra óptica.....	13
1.4 Fibra óptica multi-modo.....	14
1.5 Red de sensores.....	14
1.6 Estado del arte.....	15
2. METODOLOGIA.....	20
2.1 Caracterización de la leche.....	20
2.1.1 Leche entera.....	20
2.2 Diseño y construcción del sensor.....	20
2.2.1 Diseño del circuito.....	21
2.2.2 Construcción del circuito.....	23

2.2.3 Construcción de base para instalación.....	23
2.2.4 Acople de la fibra al montaje.....	24
2.2.5 Curvatura de la fibra.....	25
2.3 Pruebas y mediciones.....	26
2.4 Mediciones en Agua.....	28
2.5 Mediciones en leche.....	29
2.6 Pruebas en laboratorio.....	30
2.7 Construcción de tablas de resultados.....	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1 Prueba#1: aire-agua-lubol.....	32
3.2 Prueba#2: aire-agua-azul de metileno.....	33
3.3 Prueba#3: aire-agua-lubol.....	34
3.4 Prueba#4: aire-agua-formaldehido.....	35
3.5 Prueba#5: aire-agua-azul de metileno.....	36
3.6 Prueba#6: aire-agua-formaldehido.....	37
3.7 Prueba#7: aire-agua-fenolftaleína.....	38
3.8 Prueba#8: aire-leche-peróxido de hidrogeno.....	39
3.9 Prueba#9: aire-leche-formaldehido.....	40
3.10 Prueba#10: aire-leche-peróxido de hidrogeno.....	41
3.11 Prueba#11: aire-agua-leche-formaldehido.....	42
3.12 Prueba#12: aire-agua-leche-formaldehido.....	43
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46

FIGURAS:

Figura 1: Propagación de la luz a lo largo de la fibra óptica.....	13
Figura 2: reflexión total interna de fibra óptica-multimodo de índice tipo step.....	14
Figura 3: Sistema del sensor introducido en leche.....	15
Figura 4: Leche entera.....	20
Figura 5: Sistema del sensor introducido en leche.....	21
Figura 6: Emisores y receptores HFBR-0500ETZ Series.....	21
Figura 7: Circuito propuesto por el fabricante.....	22
Figura 8. Diseño del circuito y comprobación de funcionamiento ideal.....	23
Figura 9: Circuito del sensor.....	23
Figura 10: Montaje para circuitos.....	24
Figura 11: Fibra POF de 3mm.....	24
Figura 12: Fijación de la fibra al montaje.....	25
Figura 13: Prueba en agua con Fibra flexionada.....	25
Figura 14: Fibra flexionada con 3 espiras.....	26
Figura 15: Montaje final del Sensor.....	26
Figura 16: Osciloscopio Portátil.....	27
Figura 17: Mezclador Magnético.....	27
Figura 18: Agua mezclada con Azul de metileno (Izquierda) y Lubol (Derecha)...	28
Figura 19: Montaje para pruebas.....	29
Figura 20: Montaje para mediciones en leche.....	29
Figura 21: PH metro digital.....	30

Figura 22: Estufa de laboratorio.....30

Figura 23: Montaje para mediciones en laboratorio.....31

TABLAS:

Tabla 1: Composición de la leche de vaca.....17

Tabla 2: Modelo de tablas para resultados.....32

Tabla 3: resultados de prueba #1 (aire-agua-lubol)33

Tabla 4: resultados de prueba #2 (aire-agua-azul de metileno)34

Tabla 5: resultados de prueba #3 (aire-agua-lubol)35

Tabla 6: resultados de prueba #4 (aire-agua-formaldehido)36

Tabla 7: resultados de prueba #5 (aire-agua-azul de metileno)37

Tabla 8: resultados de prueba #6 (aire-agua-formaldehido)38

Tabla 9: resultados de prueba #7 (aire-agua-fenolftaleína)39

Tabla 10: resultados de prueba #8 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)40

Tabla 11: resultados de prueba #9 (aire-leche-formaldehido)41

Tabla 12: resultados de prueba #10 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)42

Tabla 13: resultados de prueba #11 (aire-agua-leche-formaldehido)43

Tabla 14: resultados de prueba #12 (aire-agua-leche-formaldehido)44

ECUACIONES:

Ecuación 1: Cálculo de resistencia del sensor.....23

GRAFICOS:

Gráfico 1: resultados de prueba #1 (aire-agua-lubol)	33
Gráfico 2: resultados de prueba #2 (aire-agua-azul de metileno)	34
Gráfico 3: resultados de prueba #3 (aire-agua-lubol)	35
Gráfico 4: resultados de prueba #4 (aire-agua-formaldehido)	36
Gráfico 5: resultados de prueba #5 (aire-agua-azul de metileno)	37
Gráfico 6: resultados de prueba #6 (aire-agua-formaldehido)	38
Gráfico 7: resultados de prueba #7 (aire-agua-fenolftaleína)	39
Gráfico 8: resultados de prueba #8 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)	40
Gráfico 9: resultados de prueba #9 (aire-leche-formaldehido)	41
Gráfico 10: resultados de prueba #10 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)	42
Gráfico 11: resultados de prueba #11 (aire-agua-leche-formaldehido)	43
Gráfico 12: resultados de prueba #12 (aire-agua-leche-formaldehido)	44

RESUMEN:

En este trabajo de grado, se construyó un sensor basado en fibra óptica de polímero tipo POF (Plastic Optical Fibre) para detección de alteraciones en leche. Esto, con el fin de garantizar que la leche presentaba cambios en sus componentes químicos iniciales cuando se iban modificando, por medio de adulterantes que comúnmente los productores emplean para alargar la vida útil y aumentar sus ganancias. Para esto se hicieron pruebas utilizando diferentes tipos de conservantes, que fueron: formaldehído y peróxido de hidrogeno, adicionalmente, se hicieron pruebas con dos tipos de químicos que alteraron la leche, que son: lubol y azul de metileno. El sensor como parte fundamental en su circuitería interna se diseñó con dos dispositivos electrónicos: transmisor (HFBR-1524Z) ideal para resolver problemas con aislamiento de voltaje y receptor (HFBR-2524Z) adecuado para emplearse en procesos de ensamblaje de alto y bajo costo, como la inserción automática. Sumándose a los elementos más importantes se encuentra la fibra óptica de polímero, siendo esta la que se introduce en los recipientes donde se encuentra la leche a evaluar.

ABSTRACT:

In this work of degree, a sensor based on optical fiber of polymer type POF (optical fiber of plastic) for the detection of alterations in the milk was constructed. This is done in order to guarantee that the milk presented changes in its chemical components in the first steps when it is modified, in the adulterating medium, in the means of work to extend the useful life and increase its profits. For this, tests were done with types of preservatives, which were: formaldehyde and hydrogen peroxide, in addition, tests were done with types of chemicals that altered the milk, which are: lubol and methylene blue. The sensor as a fundamental part of its internal circuitry was designed with two electronic devices: transmitter (HFBR-1524Z) ideal for solving problems with voltage isolation and receiver (HFBR-2524Z) suitable for use in high and low cost assembly processes, As the automatic insertion. Adding to the most important elements is the optical fiber of the polymers, this being the one that is introduced in the recipients where the milk to be evaluated is located.

INTRODUCCIÓN:

En Colombia la ganadería es una de las actividades primarias que más auge y progreso ha tenido con el pasar de los años. Actualmente se destinan en nuestro país aproximadamente 50.941.744 hectáreas a la actividad pecuaria [1], siendo Córdoba uno de los departamentos con la mayor producción de ganado, además de sus derivados, ubicándose en el tercer puesto a nivel nacional [2] (primer puesto Antioquia y segundo puesto Casanare). El departamento posee: unas excelentes condiciones en sus suelos, y una gran cantidad de fuentes hídricas, siendo estas condiciones muy favorecedoras y óptimas para el desarrollo de una ganadería sostenible.

Uno de los productos más significativos derivados de esta actividad es la leche producida por el ganado, la cual es altamente consumida por el ser humano ya sea en su forma original líquida (luego de procesos de pasteurización) o en sus derivados como el queso, suero y yogurt. Por lo general, las empresas comercializadoras adquieren la leche cruda sin alteraciones de pequeños, medianos y grandes productores para procesarla y posteriormente comercializarla. Este es un producto altamente perecedero, es decir con una vida útil muy corta debido a cambios químicos en sus componentes ocasionados principalmente por la proliferación de microorganismos [3], que se incrementan cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento. Por lo tanto, una vez obtenida, es tratada para evitar daños irreversibles; el tiempo que transcurre entre el proceso de ordeño y el tratamiento puede ser de varios días en caso de ser almacenada en tanques fríos, lo cual afecta directamente la calidad final de la leche que se comercializará. En esta situación, muchos de los productores emplean sustancias para alargar la vida útil de la leche cruda, mediante la adición de conservantes que permitan inhibir o retardar la química de procesos de descomposición promovida por la reproducción de microorganismos. Algunas de ellas no son permitidas, y se han convertido en un gran problema para las empresas que comercializan la leche una vez es higienizada y tratada, ya que estas sustancias son de difícil detección en la leche cruda, mediante métodos convencionales y requieren de equipos especializados con protocolos de medición en laboratorios. Teniendo en cuenta esta necesidad, se plantea el uso de otras tecnologías para la detección de alteraciones en la leche, que no requiera de pruebas de laboratorio sofisticadas y que sea fácilmente usable por un comercializador. En base a las razones anteriormente expuestas se realizó el proyecto de grado *“construcción de un sensor de fibra óptica basado en fibra de polímero tipo POF para detección de alteraciones en leche cruda”*, el cual fue desarrollado utilizando una fibra de polímero, que tienen como principal característica un diámetro de 3mm, la cual garantiza que la leche que se tiene presenta alteración alguna, tomando como referencia dos conservantes que son: Formaldehído y peróxido de hidrogeno. Se comprueba esta información mediante un circuito que tiene un transmisor (HFBR-1524Z) y receptor (HFBR-2524Z), un

potenciómetro de resistencia ajustable manualmente de 50 K Ω una resistencia fija de 220 ohm, un condensador cerámico y una fuente de 5V.

1. Marco teórico/estado del arte:

1.1 Leche cruda

La leche cruda es “aquella que proviene de vacas, ovejas o cabras que no ha pasado el proceso de pasteurización para matar las bacterias dañinas”.

Esta leche es obtenida en el proceso de extracción de leche (“ordeño”) en una vaca, cabra u oveja. Desde la antigüedad consumir leche es algo cotidiano, tanto en las zonas rurales, como en las urbes. Sin embargo, conforme hemos evolucionado, ha habido transformaciones en la alimentación, además, se han desarrollado en el organismo humano a nivel de la flora bacteriana diferentes microorganismos infecciosos por lo que hoy en día no es recomendable el consumo de leche cruda [4].

1.2 Conservantes:

Un conservante es una sustancia que se añade a los alimentos para preservar algunas de sus propiedades. Los conservantes permiten mantener los alimentos con sus cualidades nutritivas intactas, evitando procesos de descomposición debido a condiciones de almacenamiento y cambios térmicos que promueven la proliferación de bacterias, levaduras y mohos. Algunos conservantes son de origen natural, pero hoy en día la química proporciona sustancias que cumplen esta función y permite que los alimentos puedan viajar, y así se puedan alimentar diariamente miles de personas. Los conservantes permiten que haya alimentos de una cosecha a otra [5]. Dentro de los conservantes están los:

1.2.1 Formaldehído:

El formaldehído es un compuesto químico bastante volátil e inflamable que en condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, es incoloro y posee puntos de fusión y ebullición negativos en la escala de Celsius, siendo de -92 y -21 °C, respectivamente. Otra de sus características más notables es la alta solubilidad que presenta, tanto en agua como en éter. Hoy en día se usa para la fabricación de numerosos productos de la química industrial, así como medicamentos, etc. Es muy usado para conservar restos, o muestras de origen e interés biológico, así como para mantener los cadáveres en estado fresco. [6]

1.2.2 Peróxido de hidrógeno:

Es un compuesto químico con características de líquido, que por lo general se presenta como viscoso, conocido por ser un poderoso oxidante, eficaz,

versátil y gran alcance. Esta sustancia se ha utilizado como bactericida en algunos productos como leche o derivados del pescado, en un proceso conocido con el nombre de “pasteurización en frío”. Sin embargo, puede alterar el color de los productos y destruir algunas vitaminas, por lo que su uso como conservante está prohibido en algunos países. No obstante, se emplea con frecuencia en la conservación de la leche, destinada a la fabricación de queso. [7]

1.2.3 Carbonato sódico:

Esta se emplea como conservante en el sector alimentario, principalmente en el sector lácteo se utiliza como neutralizante, para enmascarar la acides de la leche. [8]

1.3 Fibra óptica

La fibra óptica es un filamento de vidrio o de plástico conformado por un núcleo y un revestimiento con una diferencia de índice de refracción que permite la propagación de la luz por reflexión total interna. En telecomunicaciones, es el medio de transmisión más utilizado gracias a la gran capacidad que tiene de enviar información, ya que a través de un hilo de fibra óptica se pueden enviar millones de bits por segundo (bps) y acceder a servicios de manera simultánea con gran velocidad y calidad. [9]. Sin embargo, las fibras ópticas están siendo últimamente utilizada como sensores en sistemas de medición químico, mecánico y térmico, dado que al ser la fibra un medio que confina luz en un material dieléctrico, la propagación de las señales es inmune a interferencias electromagnéticas, además su reducido tamaño, como se muestra en la figura1, bajo peso permiten la implementación de la fibra como sensor en lugares incluso donde otros sensores no pueden llegar. En nuestro caso, en este proyecto se construirá e implementará un sensor para la caracterización de la leche, y al ser la fibra un aislante, de tamaño reducido, esto permitiría ser más higiénico en el instante de caracterización de la leche.

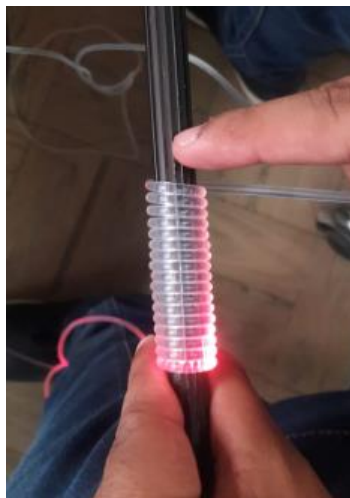


Figura 1: Propagación de la luz a lo largo de la fibra óptica
Fuente: Autor

1.4 Fibra óptica multi-modo:

Son aquellas fibras que pueden guiar y transmitir varios rayos de luz por el efecto de reflexión total interna (varios modos de propagación) como se muestra en la figura 1, a través del núcleo de la fibra óptica. En nuestro caso usaremos una fibra óptica construida en polímero con un diámetro de núcleo de 1 mm y 3 mm, que permite la propagación de hasta 300 modos aproximadamente [9]. Esta fibra es usada comercialmente para conexiones en cortas distancias, sin embargo, en este trabajo de grado se propone sea nuestro elemento sensor.

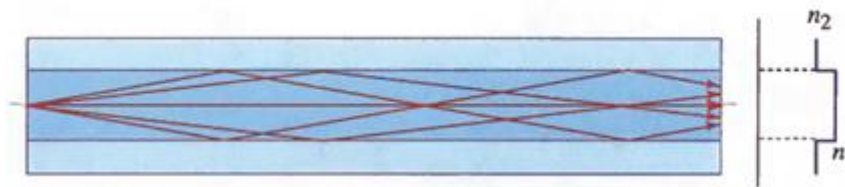


Figura 2: reflexión total interna de fibra óptica-multimodo de índice tipo step
Fuente: mintic. (s.f.). mintic. obtenido de
<http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>

1.5 Red de sensores:

Un sistema de medición conformado por sensores de fibra óptica se necesita de la fibra y asimismo decidir la técnica de medición para el sensado. Las técnicas de medición que usan sensores de fibra óptica se basan en el cambio en la propagación de la onda electromagnética o luz en la fibra las cuales pueden ser:

1. La amplitud de la onda que es proporcional a la intensidad en la salida
2. La longitud de onda en la cual se basan los sensores ópticos basados en redes de Bragg en fibra.
3. La polarización en los cuales se basan sensores para detección de voltaje y campo magnético.
4. Finalmente, la fase en los cuales se basan los sensores basados en la interferencia de la luz y que son muy sensitivos pero complejos de implementar.

El sistema de medición de este prototipo desarrollado se basa en la medición de los cambios de la intensidad de la luz en la salida de la fibra óptica, la cual se implementa usando la fibra óptica como sensor, además de emisores y detectores de luz. En el caso en particular, el sensor de fibra óptica para la detección de alteraciones en la leche se calibro mediante estos cambios de intensidad cuando la fibra se introduce en el líquido tal como se muestra en la Figura 3:

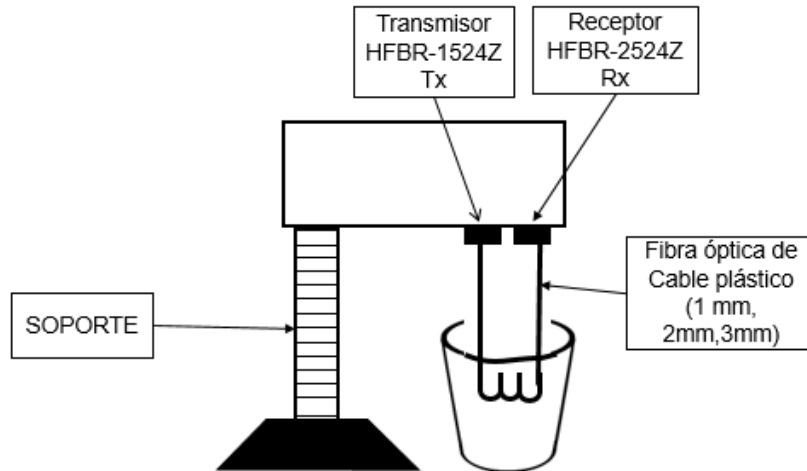


Figura 3: Sistema del sensor introducido en leche
Fuente: Autor

En este sensor se analizó la variación en la intensidad de la luz en tiempo real, según la trazabilidad del sensor y su fiabilidad.

1.6 ESTADO DEL ARTE

1.6.1 DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H₂O₂) EN LECHE FRESCA COMERCIALIZADA EN EL DISTRITO DE CHICLAYO.

En el distrito de Chiclayo, durante los meses de mayo y noviembre del año 2013 se realizó una investigación en la cual se determinarían los residuos de antibióticos y de peróxido de hidrógeno en la leche fresca comercializada en dicha región, se analizaron 250 muestras de leche fresca comercializada en diferentes lugares de expendio como lo son: mercados, calles, establos y centros de acopio, con el propósito de determinar la presencia de Residuos de antibióticos y/o Peróxido de Hidrógeno, para lo cual se utilizaron: El método de Cultivo de *Bacillus stearothermophilus* (Llanos 1990 - 1991) y el Combo Test Kit MilkGuard para detectar residuos de antibióticos β -lactámicos y tetraciclinas, y el método para determinar la presencia de Peróxido de Hidrógeno; encontrándose 43 muestras positivas para Residuos de antibióticos y 2 muestras positivas para Peróxido de Hidrógeno con un 17.2% y un 0.8% respectivamente. Estos resultados muestran que la leche fresca que consume la población chiclayana está contaminada con residuos de antibióticos (en un 100% β - lactámicos), y aunque en un bajo porcentaje en algunos lugares se comercializa leche adulterada con Peróxido de Hidrógeno lo que significa un serio riesgo para la salud de los consumidores en especial lactantes y niños. [10]

1.6.2 Comparación de los métodos convencionales y equipo digital ultrasónico (EKOMILK), en el análisis físico-químico de leche cruda, aplicando el Método Estadístico de Bland – Altman.

En la ciudad de Quito, en julio de 2005, se realizó una investigación en la cual se compara los métodos convencionales con los equipos digitales ultrasónicos para el análisis físico-químico de la leche cruda, se tomó en cuenta que la composición de la leche está dada por agua, grasa, lactosa, proteína, cenizas como se ve en la figura 3 visto desde el punto de vista físico químico como una mezcla compleja de diferentes sustancias, cuya proporción varía debido a distintos factores como raza, época de lactancia, época del año, individualidad, alimentación, patologías que producen un sabor dulzón suave. La leche bovina es un producto de consumo masivo en los seres humanos, razón por la cual, la calidad e inocuidad es importante evaluarla día con día. Existen nuevos métodos de análisis que están siendo introducidos en el mercado, los cuales no han sido validados; por esta razón, la finalidad del presente trabajo fue evaluar la concordancia del Equipo Digital Ultrasónico (EKOMILK) con los métodos convencionales adoptados por la Norma INEN, en el análisis físico- químico (densidad, grasa, proteína, sólidos no grasos, sólidos totales, punto de congelación, agua añadida) de leche cruda. En total, se obtuvieron 260 muestras de leche, las cuales fueron tomadas de 13 centros de acopio de leche, durante 20 replicaciones, en la provincia de Pichincha en los cantones San Miguel de los Bancos y Pedro Vicente Maldonado. Las muestras fueron duplicadas para realizar los análisis físico-químicos, en cada uno de los métodos del estudio; mismos fueron ejecutados en los laboratorios del Centro Experimental Uyumbicho. Los resultados demostraron que, de manera general, ambos métodos reportan similares resultados, dentro de los márgenes establecidos por la norma INEN a excepción de densidad, punto de congelación para EKOMILK y agua añadida para ambos métodos. Del mismo modo, al estudio de concordancia por el método estadístico de Bland-Altman, reportaron que no son concordantes en ninguna de las pruebas descritas. La prueba estadística de Chi² determinó que no existe diferencia significativa en ninguno de los parámetros de la leche, analizados con el equipo digital ultrasónico (EKOMILK); mientras que, entre asociaciones, se estableció que existe diferencia significativa para agua añadida, punto de congelación, proteína (método Sorensen), analizados por métodos convencionales. En conclusión, en este estudio y de acuerdo a los resultados estadísticos, se determinó que el Equipo Digital Ultrasónico (EKOMILK) no es concordante con los parámetros físico-químicos de la leche en el área de estudio en comparación con los Métodos Convencionales. [11]

COMPONENTES	PORCENTAJE
Agua	85-90 %
Grasa	2.5-5 %
Proteína	2.9-4 %
Lactosa	4- 5.5%
Cenizas	0.7-1 %

Tabla 1: Composición de la leche de vaca

Fuente: Ortuño, n. p. (julio 2015). comparación de los métodos convencionales y equipo digital ultrasónico (ekomilk), en el análisis físico-químico de leche cruda, aplicando el método estadístico de bland- altman. quito: universidad central del ecuador.

1.6.3 Evaluación de un Sistema de Muestreo Automático para Leche Cruda. Determinación de Recuento Total de Bacterias y Recuento de Células Somáticas.

En el año 2009, en la ciudad de Valdivia, Chile se realizó una investigación en la cual se evalúa un sistema de muestreo automático para la leche cruda (BARTEC®), instalado en los camiones recolectores de una industria lechera del sur de Chile. Para realizar este trabajo, se extrajeron muestras de leche cruda almacenada en tanques prediales, mediante éste sistema de muestreo y el manual, siendo este último considerado como el método de referencia, para los efectos de comparación. La toma de muestras, abarcó un periodo de 4 semanas, distribuidas entre los meses de diciembre del 2008 y enero del 2009. Para la obtención de éstas, se visitó un total de 146 predios, distribuidos entre la Décimo Cuarta Región de Los Ríos y la Décima Región de Los Lagos. Una vez extraídas las muestras, se almacenaron y transportaron hasta la industria, desde donde finalmente fueron enviadas a un laboratorio certificado, para sus análisis correspondientes. Los resultados del análisis de la calidad higiénica de la leche (recuento total de bacterias y recuento de células somáticas), fueron sometidos a análisis descriptivo, donde se detectaron leves diferencias entre ambas metodologías de muestreo. Sin embargo, a través del diagrama de dispersión, cuyo coeficiente de correlación fue de 0,99 (para ambos análisis de calidad), se estableció que los valores en la mayoría de los casos fueron muy similares, además el análisis de varianza indicó que las diferencias no fueron significativas (p-valor > 0,05), entre ambas metodologías de muestreo. Por lo tanto, la metodología de muestreo automático puede ser utilizada como metodología alternativa, validada frente al método de muestreo manual. [12]

1.6.4 Determinación de la alteración-adulteración de leche cruda mediante análisis fisicoquímicos en medios de transporte legalizados, provenientes de la Parroquia Tarqui, Cantón Cuenca.

El presente estudio se realizó en el Cantón Cuenca de la provincia del Azuay muestreando leche cruda de los transportistas que la recolectan de las haciendas

de la parroquia Tarqui y la llevan a las plantas procesadoras o la comercializan directamente. El muestreo se realizó con el apoyo de AGROCALIDAD y la Policía Nacional en operativos realizados en puestos estratégicos. Se recolectaron 90 muestras de 39 transportistas de la parroquia indicada registrados y con permiso de funcionamiento de AGROCALIDAD que representan el 100% de la población a estudiarse. Se determinaron parámetros establecidos por la Norma (INEN 9 como estabilidad proteica, pH, presencia de antibióticos, neutralizantes y peróxidos; la metodología empleada se realizó basada en el Manual de Procedimientos para Vigilancia y Control de la Inocuidad Leche Cruda. AGROCALIDAD (2013). Dos pruebas (presencia de neutralizantes y pH) se realizaron en el Laboratorio de Diagnóstico Rápido de AGROCALIDAD/Azuay. Se determinó que un 35,5% de las muestras no cumplen con los parámetros establecidos por la Autoridad competente, de este porcentaje un 10% presentó pH bajo, 10% inestabilidad de la proteína, 4,4% presencia de antibióticos y 11,1% presencia de neutralizantes. Se establecieron métodos estadísticos de Correlación en donde se observó que mientras mayor es el tiempo de recorrido es más probable que el pH descienda y en los transportistas que tienen más proveedores hay mayor posibilidad de que la leche se encuentre contaminada con antibióticos. [13]

1.6.5 Sistema Sensor de Células Somáticas en Leche de Cabra.

Se presenta un método para cuantificar el número de células somáticas en leche de cabra basado en cambios de permitividad. Se correlaciona la amplitud de la permitividad de relajación de membrana con la fracción de volumen de las células. El aumento del número de células somáticas por sobre un nivel determinado en general indica la presencia de mastitis sub-clínica. A pesar de que la mastitis sub-clínica se puede detectar en leche vacuna mediante métodos sencillos, éstos no son aplicables en leche caprina debido a su difícil interpretación por la interferencia de partículas citoplasmáticas. La evidencia demuestra que sólo las células vivas influyen en el cambio de amplitud de la permitividad de esta relajación, por lo que sería posible eliminar la interferencia de las partículas citoplasmáticas. Cada grupo de células similares posee un espectro característico a partir del cual se obtienen las frecuencias características a la cuales sucede esta relajación. A fin de desarrollar un sistema sensor para determinar la cantidad de células somáticas en leche de cabra se midieron dichos espectros en el rango de frecuencias de 1000 Hz a 10 MHz usando un Analizador de Impedancia HP 4192A y una celda de espaciado variable con electrodos de platino. [14]

1.6.6 Sensor de fibra doblada para la detección de conservantes en la leche.

Los avances tecnológicos han facilitado cada área de nuestras vidas. Uno de los desarrollos ha tenido lugar en la industria alimentaria porque las tecnologías de sensores basadas en biosensores ofrecen ventajas en los procesos industriales y también en los de salud y químicos. Con el fin de garantizar la seguridad y, por tanto, para aumentar la calidad de los alimentos, la vigilancia de contaminantes e impurezas como los conservantes en los alimentos naturales y diarios se ha convertido en un interés importante. La leche y los productos hechos de leche

tienen un lugar especial no sólo en nuestra nutrición diaria, sino también en nuestra salud. Debido al hecho de que pueden transportar bacterias y microorganismos dañinos, pueden estropear los productos y enfermar a las personas. Por esta razón, muchos investigadores han intentado desarrollar biosensores para detectar composiciones y algunos contaminantes tales como enterotoxinas, antibióticos, bacterias, aflatoxinas y el seguimiento de algunos parámetros críticos, tales como el tiempo de corte, el pH, temperatura y concentración de enzimas en la leche y sus productos.

Se presenta un sensor de fibra óptica sensible a los cambios del índice de refracción de la región exterior del revestimiento de fibra. El sensor utiliza fibras ópticas plásticas dobladas en diferentes longitudes de flexión para aumentar la sensibilidad. Las mediciones se hicieron para leche baja en grasa, cuyo índice de refracción está alterado por algunos conservantes tales como formaldehído, peróxido de hidrógeno y carbonato de sodio. Las concentraciones de los conservantes en la leche se cambiaron entre 0% y 14,3%, mientras que los índices de refracción se produjeron entre 1,34550 y 1,35093 para las concentraciones mínima (0%) y máxima (14,286%) de carbonato de sodio, respectivamente. Debido a la sensibilidad inducida por flexión, el sensor es capaz de detectar cambios en el índice de refracción de menos del 0,4%. Los resultados muestran que existe una excelente linealidad entre la concentración y la respuesta normalizada del sensor. [15]

2. Metodología

En la realización del proyecto de investigación se describió el procedimiento de la siguiente manera:

2.1 Caracterización de la leche

Como primer paso, antes de la puesta en marcha de la construcción del sensor POF para la detección de componentes en la leche, era imprescindible una identificación de los ingredientes básicos que se hallan en la leche, con el fin de prever mediciones incorrectas en dicho sensor debido al desconocimiento de su composición.

2.1.1 Leche entera

Se optó por la utilización de la leche entera comercial, ya que esta garantizaba el conocimiento de sus ingredientes básicos, y en esta, se podrían apreciar de manera precisa debido a que su bolsa contenedora, posee dicha descripción como se aprecia en la figura 4.



Figura 4: Leche entera
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta esta información se consideró que los elementos que contenía esta leche no hacían parte de los elementos válidos para las mediciones posteriores.

2.2 Diseño y construcción del sensor

En esta etapa se inició el diseño y ensamblaje del sensor tipo POF, teniendo en cuenta los equipos diseñados para este tipo de aplicaciones.

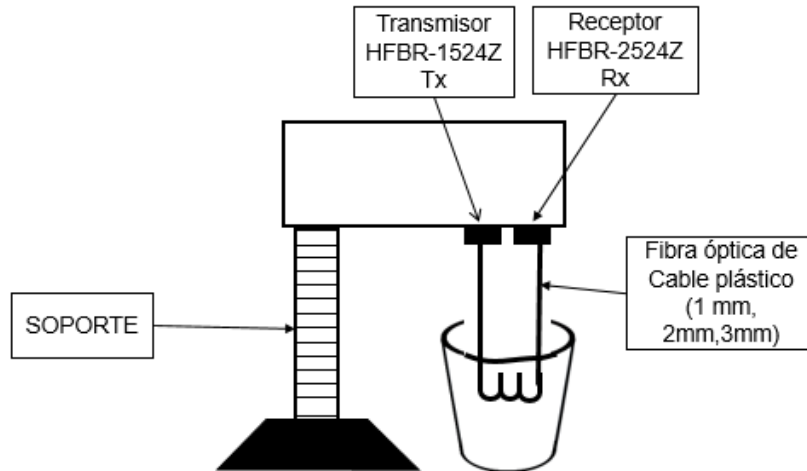


Figura 5: Sistema del sensor introducido en leche
Fuente: Autor

2.2.1 Diseño del circuito

Para la construcción de un sensor de fibra óptica, se necesitan primordialmente los elementos de emisión y recepción de haces de luz que viajara a través de la fibra de polímero, para el diseño del presente sensor de eligieron los equipos HFBR-0500ETZ Series de la compañía BROADCOM, mostrados en la figura 6, los cuales son óptimos para la aplicación requerida debido a su gran utilidad y facilidad de manejo.

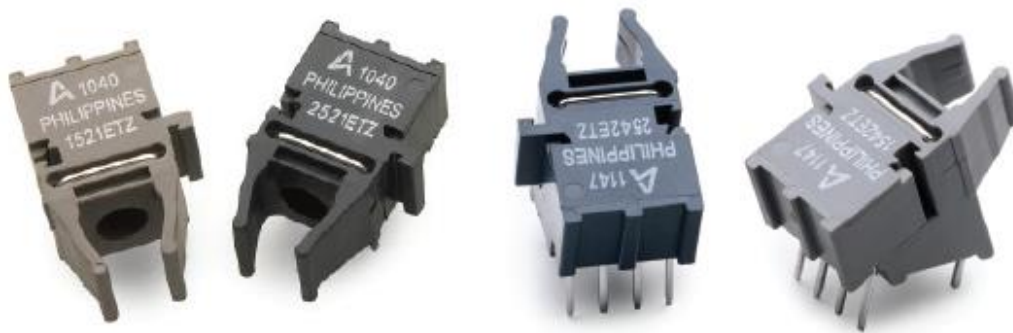


Figura 6: Emisores y receptores HFBR-0500ETZ Series
Fuente: BROADCOM

Dichos elementos de emisión y recepción debían ser conectados correctamente para garantizar un eficaz funcionamiento, teniendo en cuenta niveles de voltaje y corriente, además de componentes resistivos de protección. El diseño del circuito del sensor se basó en el propuesto por el fabricante en la hoja de datos del equipo, como se observa en la figura 7, sin embargo, se modificó en algunos

dispositivos para adaptarlo a la finalidad, debido a que dicho diseño se presentaba para sistemas de transmisión de información mediante fibra óptica.

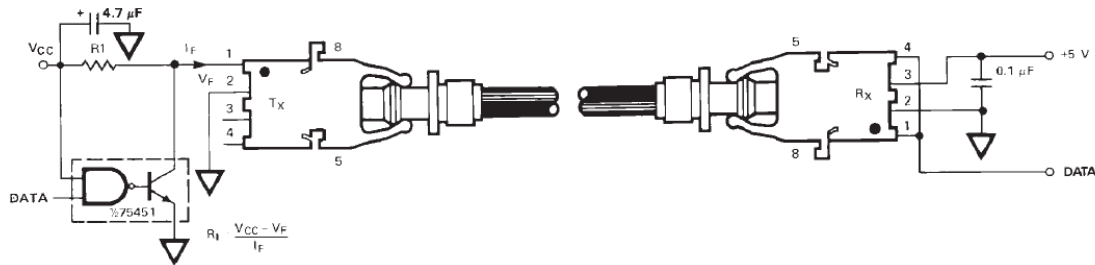


Figura 7: Circuito propuesto por el fabricante.
Fuente: BROADCOM

En las modificaciones ya mencionadas, se contempló la eliminación del componente amplificador 75451, usado principalmente como un elemento de amplificación de la señal de entrada ya que este no era necesario en el sensor que se estaba diseñando; de igual manera, se realizaron los cálculos correspondientes para garantizar los niveles adecuados de tensión de entrada del sensor. Teniendo en cuenta la ecuación 1, se eligió la resistencia que garantizo un voltaje Ánodo-Cátodo del emisor no mayor a 2,05 V, máximo establecido en la hoja de datos del fabricante.

$$R1 = \frac{V_{cc} - V_f}{I_f}$$

Ecuación 1: Calculo de resistencia del sensor
Fuente: datasheet de módulos

Teniendo en cuenta los componentes elegidos para la construcción del circuito, este fue diseñado en un software de pruebas para comprobar su funcionamiento ideal, como se aprecia en la figura 8. Además de sus elementos principales, se adaptó un diodo Laser adicional, como fuente de luminosidad complementaria en casi de obtener bajos niveles de parte del emisor adquirido.

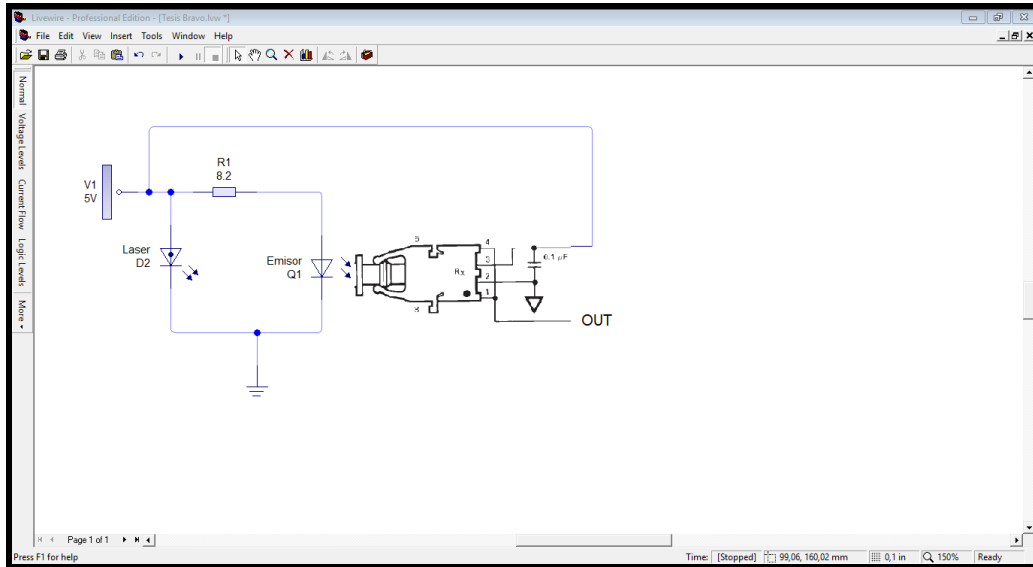


Figura 8. Diseño del circuito y comprobación de funcionamiento ideal.
Fuente: Autor

2.2.2 Construcción del circuito

Luego de diseñar el circuito sensor, se procedió a su construcción y ensamblaje.

En la figura 9, se observa el circuito con los dispositivos mencionados anteriormente y su adaptación con cables de alimentación de salida.



Figura 9: Circuito del sensor.
Fuente: Autor

2.2.3 Construcción de base para instalación

Con el objetivo de fijar el circuito mostrado anteriormente, se construyó una base metálica que lo sostuviera de forma fija para garantizar la disminución de movimientos que pueden afectar las mediciones, ya que este es un factor importante en la implementación del equipo.

Como se aprecia en la figura 10, la base construida tiene la posibilidad de dar soporte a dos circuitos montados con el mismo diseño, al igual ofrece estabilidad del sensor y todos sus componentes.



Figura 10: Montaje para circuitos
Fuente: Autor

2.2.4 Acople de la fibra al montaje

Para la posterior fase de pruebas de este sensor se eligió una POF con un diámetro de 3mm, mostrada en la figura 11, debido a su mejor acople con los emisores y receptores y su facilidad de manejo.



Figura 11: Fibra POF de 3mm
Fuente: Autor

Como se mencionó previamente, es fundamental la inmovilización de la fibra para la realización de pruebas, por lo que la base anteriormente mostrada fue modificada para garantizar este estado, como se observa en la figura 12.



Figura 12: Fijación de la fibra al montaje.
Fuente: Autor

2.2.5 Curvatura de la fibra

Teniendo en cuenta la naturaleza del sensor y luego de haber determinado el diámetro óptimo para la curvatura de la fibra, se procedió a curvarla y fijarla aplicando calor, creando así la forma idónea para mediciones que garanticen niveles de tensión en la salida dentro de un rango ideal.

En principio, se procedido a realizar pequeñas pruebas piloto para determinar la mejor forma posible de la fibra, así que esta fue sostenida con amarres plásticos e introducida en agua, como se aprecia en la figura 13, para comprobar los cambios que se producían a distintos diámetros y números de espiras.



Figura 13: Prueba en agua con Fibra flexionada.
Fuente: Autor

Como se muestra en la figura 14, luego de las pruebas anteriormente mencionadas, fueron aplicadas 3 espiras a la fibra seleccionada con un diámetro de aproximadamente 20 mm, y después de exponerse a una pistola de calor, esta tomó la forma y quedó en posición correcta para poder percibir variaciones de luminosidad al ser introducida en el líquido de prueba.



Figura 14: Fibra flexionada con 3 espiras.
Fuente: Autor

Luego de diseñado y ensamblado el sensor, como se observa en la figura 15, este quedó dispuesto para el inicio de pruebas de mediciones.

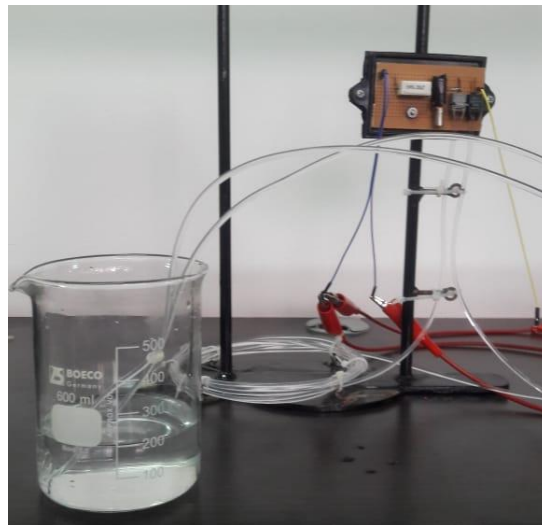


Figura 15: Montaje final del Sensor
Fuente: Autor

2.3 Pruebas y mediciones

Teniendo el sensor listo, se procedió a iniciar una etapa de pruebas con distintos líquidos y aditivos químicos para la comprobación del funcionamiento del sensor. Siendo escogidos para las pruebas el agua y la leche, igualmente se tuvo en

cuenta los valores de salida del sensor cuando la fibra se encontraba expuesta al aire, con el fin de tener una referencia de medida.

Para la determinación del voltaje de salida, se optó por utilizar un osciloscopio portátil, mostrado en la figura 16, debido a que este ofrecía una alta exactitud con aproximaciones de hasta 3 decimales.



Figura 16: Osciloscopio Portátil
Fuente: Autor

Adicionalmente, con el fin de obtener una mezcla homogénea, se usó un agitador magnético, mostrado en la figura 17, que permitiera una distribución uniforme del soluto seleccionado.



Figura 17: Agitador Magnético.
Fuente: Autor

2.4 Mediciones en Agua

Para realizar las mediciones, se usó agua corriente sin ningún tipo de aditivo para no alterar los resultados.

Las sustancias seleccionadas para ser añadidas al agua fueron: formol, azul de metileno, lubol, formaldehido, entre otras, algunos de los cuales le daban tonalidad a la mezcla, como se observa en la figura 18, y permitían determinar cómo esto afectaba a la medición.



Figura 18: Agua mezclada con Azul de metileno (Izquierda) y Lubol (Derecha)
Fuente: Autor

La metodología de medición consistió en medir el voltaje de salida inicialmente en el aire, luego en agua, e ir añadiendo 2 ml de sustancia y determinar si se producía cambio en dicha salida de tensión.

Como se observa en la figura 19, el montaje realizado para las muestras permitía tener una respuesta inmediata en la tensión, teniendo en cuenta la recomendación de mantener la fibra en una posición estática que no afectara los resultados obtenidos.



Figura 19: Montaje para pruebas.
Fuente: Autor

2.5 Mediciones en leche

Después de haber realizado pruebas en agua, se procedió a realizar pruebas similares en la leche escogida previamente, de igual forma fueron añadidos los aditivos en las mismas proporciones que en el agua con el fin de comparar resultados.

En la figura 20 se puede observar el montaje realizado para la realización de pruebas en leche, de igual manera se usó un mezclador magnético para garantizar la homogeneidad de la solución y un osciloscopio portátil para observar las variaciones en la salida de tensión, todo esto al introducir la sonda de fibra en la leche en su totalidad.

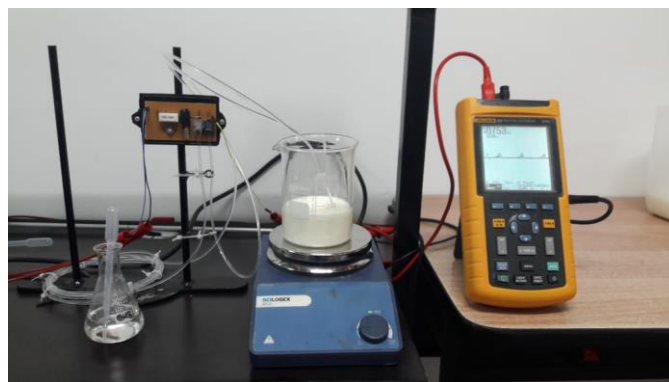


Figura 20: Montaje para mediciones en leche
Fuente: Autor

2.6 Pruebas en laboratorio

Luego de realizar pruebas básicas con agua y leche, adicionando algunas sustancias para comprobar su existencia haciendo uso del sensor diseñado. Se procedió a repetirlas en un laboratorio, con ambiente controlado y haciendo uso de otros elementos necesarios para la recolección de datos que contribuyeran a la caracterización del sensor.

Como se observa en la figura 21, fue utilizado un Ph-metro digital, el cual proporciono información adicional sobre como las sustancias añadidas alteraban la integridad de la leche.



Figura 21: PH metro digital.
Fuente: Autor.

Adicionalmente, se realizaron mediciones con variaciones de temperatura en la leche, determinando que incidencia tiene esta en los resultados obtenidos por el sensor. Dichas variaciones se produjeron haciendo uso de una estufa de laboratorio, mostrada en la figura 22.



Figura 22: Estufa de laboratorio.
Fuente: Autor.

En la figura 23, se aprecia el montaje realizado para realizar las mediciones en el laboratorio, haciendo uso de todos los elementos necesarios para la obtención de resultados suficientes que determinaran la eficiencia del sensor construido.

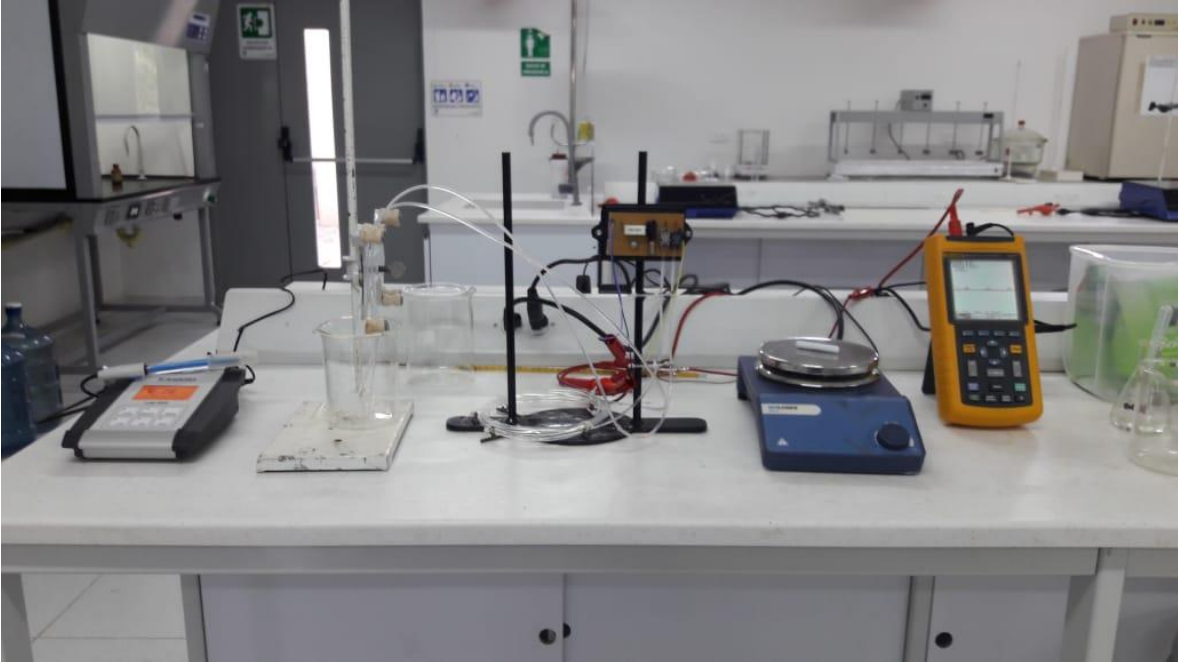


Figura 23: Montaje para mediciones en laboratorio.
Fuente: Autor.

2.7 Construcción de tablas de resultados

Por último, toda la información que se recopiló en las diversas pruebas realizadas con varias sustancias y en condiciones distintas, fue contenida en tablas que dieran la posibilidad de comparar estos resultados entre ellos, como la mostrada en la tabla 2, permitiendo observar la relación entre la cantidad de aditivo mezclado con el solvente base (agua o leche) y las variaciones en los niveles de tensión de salida del sensor; de igual manera, que estas dieran la posibilidad de contrastar los datos entre sí, teniendo en cuenta la cantidad adicionada en la misma proporción para todas las sustancias probadas.

PRUEBA#			
AIRE			
AGUA			
SOLVENTE			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1		2 ml	
2		4 ml	
3		6 ml	
4		8 ml	
5		10 ml	
6		12 ml	
7		14 ml	
8		16 ml	
9		18 ml	

Tabla 2: Modelo de tablas para resultados
Fuente: Autor.

3. Resultados y discusión

Se hicieron tablas para cada una de las pruebas, en donde se detallan a continuación:

3.1 Prueba#1: aire-agua-lubol

En la prueba#1, se evidencia que para obtener los resultados fueron implementados diferentes pasos, siendo los siguientes: En el paso 1 se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, arrojando un valor de 0,432 voltios. En el paso 2 se tomaron los datos con la fibra óptica del sensor internándola en el agua(solvente), que tenía una cantidad de 500 ml en un beaker, arrojando un valor de 0,452v. Estableciendo así, una diferencia de 0,02 voltios. En el paso 3 se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de lubol(soluto), la cual tenía una variación cada minuto de 2 ml para su detección, demostrando que no hay cambios en los datos obtenidos por el sensor, como se muestra en la tabla.

PRUEBA #1			
AIRE	0,432V		
AGUA	0,452V		
500 ML AGUA (solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Lubol	2 ml	No hay cambios
2	Lubol	4 ml	No hay cambios
3	Lubol	6 ml	No hay cambios
4	Lubol	8 ml	No hay cambios
5	Lubol	10 ml	No hay cambios
6	Lubol	12 ml	No hay cambios
7	Lubol	14 ml	No hay cambios
8	Lubol	16 ml	No hay cambios
9	Lubol	18 ml	No hay cambios

Tabla 3: resultados de prueba #1 (aire-agua-lubol)
Fuente: Autor.

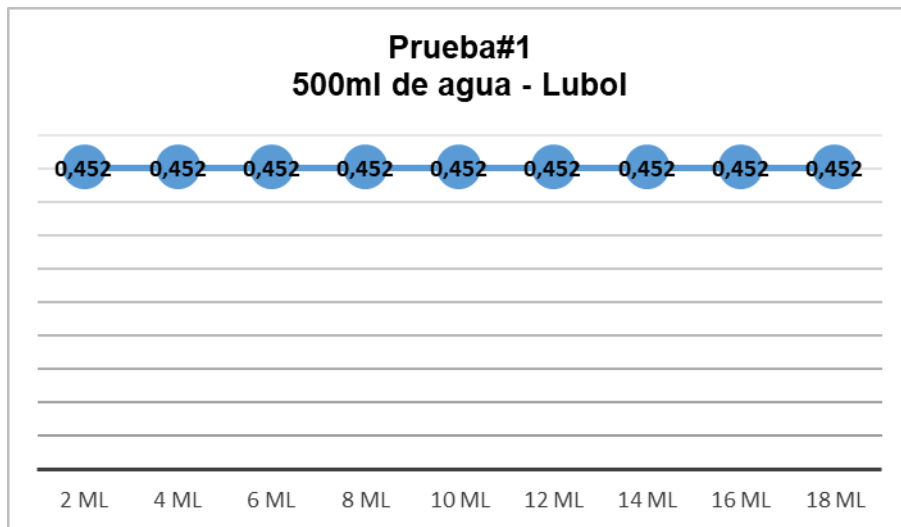


Gráfico 1: resultados de prueba #1 (aire-agua-lubol)
Fuente: Autor.

3.2 Prueba#2: aire-agua-azul de metileno

En la prueba#2, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso al igual que en la prueba#1 se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, en el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor en el agua(solvente) con una cantidad de 300 ml agregada en una beaker, en el paso 3 se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de azul de metileno(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se exponen cambios en el voltaje, como se muestra en la tabla.

PRUEBA #2			
AIRE		0,432V	
AGUA		0,452V	
300 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Azul de metileno	2 ml	0,4535
2	Azul de metileno	4 ml	0,4545
3	Azul de metileno	6 ml	0,4552
4	Azul de metileno	8 ml	0,4558
5	Azul de metileno	10 ml	0,4561
6	Azul de metileno	12 ml	0,45697
7	Azul de metileno	14 ml	0,45762
8	Azul de metileno	16 ml	0,45827
9	Azul de metileno	18 ml	0,45892

Tabla 4: resultados de prueba #2 (aire-agua-azul de metileno)
Fuente: Autor.

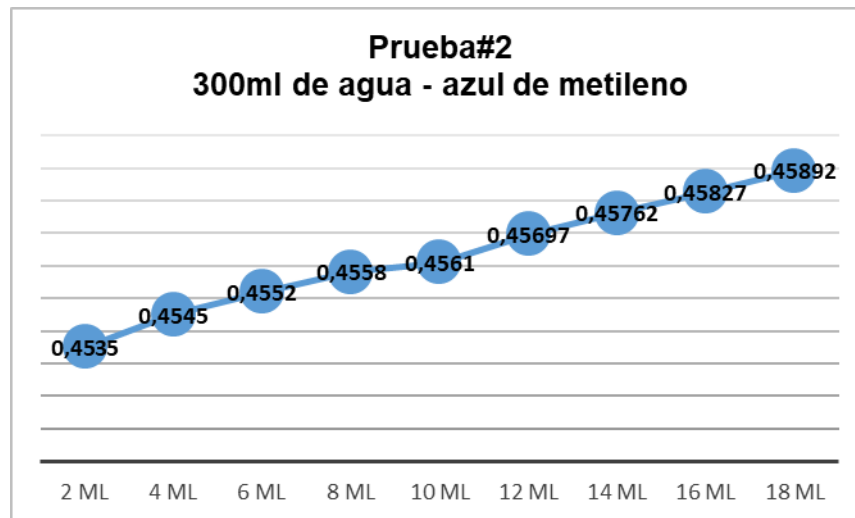


Gráfico 2: resultados de prueba #2 (aire-agua-azul de metileno)
Fuente: Autor.

3.3 Prueba#3: aire-agua-lubol

En la prueba#3, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso, al igual que en los pasos anteriores se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, en el paso 2 se tomaron los datos con la fibra óptica en el agua(solvente) con una cantidad de 300 ml, en el paso 3 se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de lubol(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se presentan cambios en el voltaje hasta una cantidad determinada del soluto, logrando así saturar el sensor y no mostrando más cambios en los datos, como se muestra en la tabla.

PRUEBA#3			
AIRE	0,4445V		
AGUA	0,4549V		
300 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Lubol	2 ml	0,4603
2	Lubol	4 ml	0,4606
3	Lubol	6 ml	0,4607
4	Lubol	8 ml	0,46071
5	Lubol	10 ml	0,4607
6	Lubol	12 ml	no hay cambio
7	Lubol	14 ml	no hay cambio
8	Lubol	16 ml	no hay cambio
9	Lubol	18 ml	no hay cambio

Tabla 5: resultados de prueba #3 (aire-agua-lubol)
Fuente: Autor.

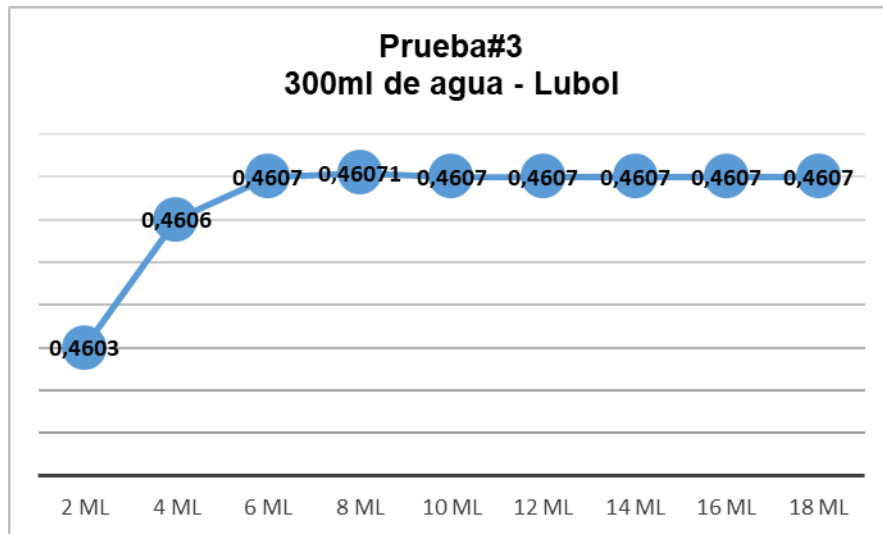


Gráfico 3: resultados de prueba #3 (aire-agua-lubol)
Fuente: Autor.

3.4 Prueba#4: aire-agua-formaldehido

En la prueba#4, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,4445 voltios, en el paso 2 se tomaron los datos con la fibra del sensor en el agua(solvente) con una cantidad de 300 ml agregada en una beaker, en el tercer paso se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de formaldehido(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se exponen cambios en el voltaje hasta un determinado valor ya que se saturo cuando detecto 8 ml del soluto agregado, como se muestra en la tabla.

PRUEBA#4			
	AIRE		0,4445V
	AGUA		0,4549V
300 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Formaldehido	2 ml	0,4553
2	Formaldehido	4 ml	0,4559
3	Formaldehido	6 ml	0,456
4	Formaldehido	8 ml	0,4571
5	Formaldehido	10 ml	0,45678
6	Formaldehido	12 ml	No hay cambios
7	Formaldehido	14 ml	No hay cambios
8	Formaldehido	16 ml	No hay cambios
9	Formaldehido	18 ml	No hay cambios

Tabla 6: resultados de prueba #4 (aire-agua-formaldehido)
Fuente: Autor.

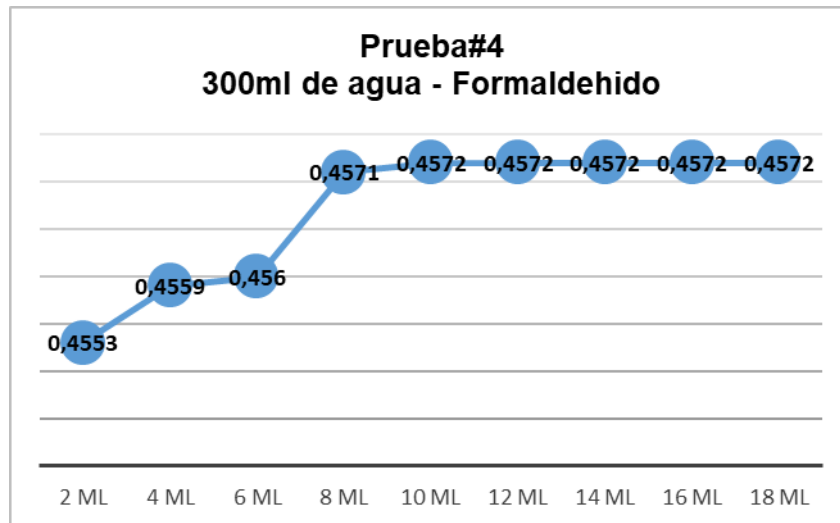


Gráfico 4: resultados de prueba #4 (aire-agua-formaldehido)
Fuente: Autor.

3.5 Prueba#5: aire-agua-azul de metileno

En la prueba#5, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos: en el paso 1, se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,442 voltios, en el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor internada en un beaker que tenía 200 ml de agua(solvente), arrojando una información de 0,448 voltios, generando una diferencia de 0,046 voltios, en el paso 3 se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de azul de metileno diluido(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, mostrando que el sensor obtiene datos donde se evidencian cambios en el voltaje hasta un determinado valor, ya que se satura cuando detecta 10 ml del soluto agregado, como se muestra en la tabla.

PRUEBA#5			
AIRE		0,442V	
AGUA		0,488V	
200 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Azul de metileno diluido	2 ml	0,491
2	Azul de metileno diluido	4 ml	0,491
3	Azul de metileno diluido	6 ml	0,491
4	Azul de metileno diluido	8 ml	0,491
5	Azul de metileno diluido	10 ml	0,491
6	Azul de metileno diluido	12 ml	no hay cambio
7	Azul de metileno diluido	14 ml	no hay cambio
8	Azul de metileno diluido	16 ml	no hay cambio
9	Azul de metileno diluido	18 ml	no hay cambio

Tabla 7: resultados de prueba #5 (aire-agua-azul de metileno)
Fuente: Autor.

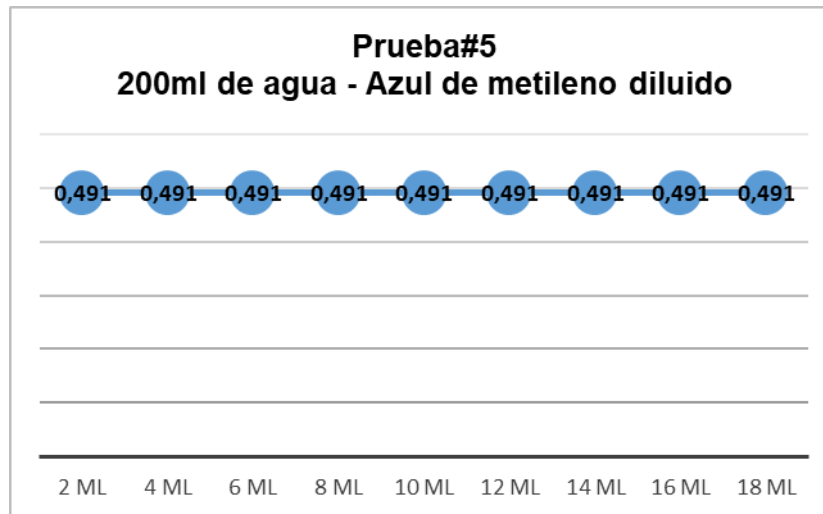


Gráfico 5: resultados de prueba #5 (aire-agua-azul de metileno)
Fuente: Autor.

3.6 Prueba#6: aire-agua-formaldehido

En la prueba#6, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el paso 1 se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,442 voltios. En el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor internada en 200 ml de agua(solvente) en una beaker, arrojando una información de 0,488 voltios. Generando una diferencia de 0,046 voltios, en el tercer paso se agregó al agua(solvente) una cantidad determinada de azul de metileno(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtuvo datos donde se mostraron cambios en el voltaje hasta un determinado valor ya que se satura cuando detecta 10 ml del soluto agregado, como se muestra en la tabla.

PRUEBA#6			
AIRE		0,442V	
AGUA		0,488V	
200 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Formaldehido	2 ml	0,495
2	Formaldehido	4 ml	0,504
3	Formaldehido	6 ml	0,5041
4	Formaldehido	8 ml	0,5042
5	Formaldehido	10 ml	0,5043
6	Formaldehido	12 ml	No hay cambios
7	Formaldehido	14 ml	No hay cambios
8	Formaldehido	16 ml	No hay cambios
9	Formaldehido	18 ml	No hay cambios

Tabla 8: resultados de prueba #6 (aire-agua-formaldehido)
Fuente: Autor.

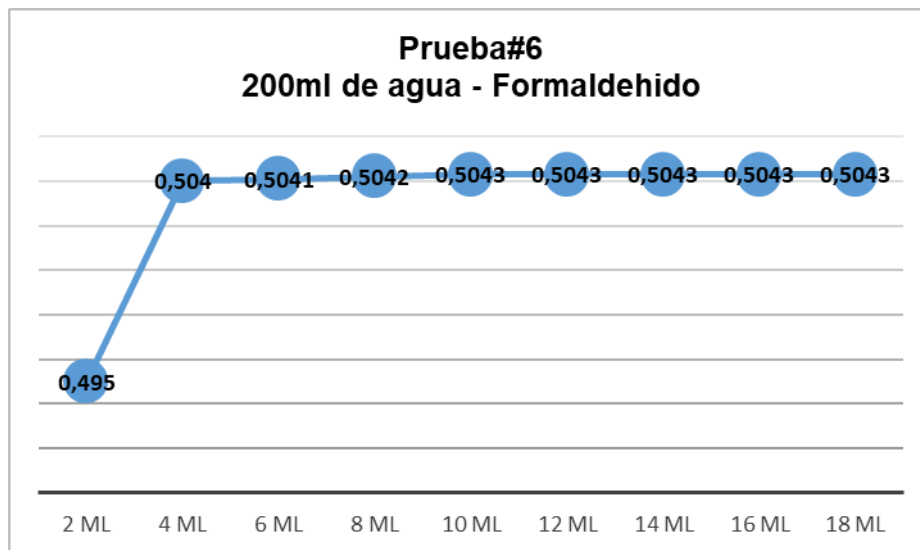


Gráfico 6: resultados de prueba #6 (aire-agua-formaldehido)
Fuente: Autor.

3.7 Prueba#7: aire-agua-fenolftaleína

En la prueba#7, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,442 voltios. En el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor en el agua(solvente) con una cantidad de 200 ml agregada en una beaker, arrojando una información de 0,488 voltios, haciendo una variación de 0,046 voltios, en el tercer paso se agregó al agua(solvente), una cantidad determinada de fenolftaleína(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se mostraron cambios en el voltaje hasta un determinado

valor ya que se saturó cuando detectó 8 ml del soluto agregado, como se muestra en la tabla.

PRUEBA#7			
AIRE	0,442V		
AGUA	0,488V		
200 ML AGUA(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Fenolftaleína	2 ml	0,496
2	Fenolftaleína	4 ml	0,498
3	Fenolftaleína	6 ml	0,523
4	Fenolftaleína	8 ml	0,5326
5	Fenolftaleína	10 ml	No hay cambios
6	Fenolftaleína	12 ml	No hay cambios
7	Fenolftaleína	14 ml	No hay cambios
8	Fenolftaleína	16 ml	No hay cambios
9	Fenolftaleína	18 ml	No hay cambios

Tabla 9: resultados de prueba #7 (aire-agua-fenolftaleína)
Fuente: Autor.

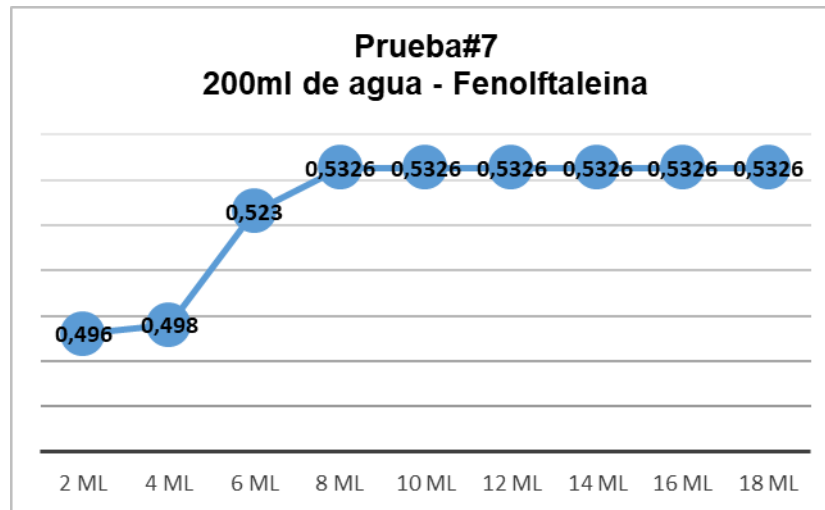


Gráfico 7: resultados de prueba #7 (aire-agua-fenolftaleína)
Fuente: Autor.

3.8 Prueba#8: aire-leche-peróxido de hidrogeno

En la prueba#8, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,597 voltios. En el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor internada en 200 ml de leche, arrojando una información de 0,658 voltios, generando una diferencia de 0,061 voltios. En el tercer paso se agregó a la leche(solvente), una cantidad determinada de peróxido de hidrogeno(soluto), la cual tenía una variación de 2 ml

para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se mostraron cambios en el voltaje, como se muestra en la tabla.

PRUEBA #8			
	AIRE		0,597V
	LECHE		0,658v
200 ML LECHE(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Peroxido de hidrogeno	2 ml	0,667
2	Peroxido de hidrogeno	4 ml	0,677
3	Peroxido de hidrogeno	6 ml	0,682
4	Peroxido de hidrogeno	8 ml	0,69
5	Peroxido de hidrogeno	10 ml	0,701
6	Peroxido de hidrogeno	12 ml	0,707
7	Peroxido de hidrogeno	14 ml	0,715
8	Peroxido de hidrogeno	16 ml	0,728
9	Peroxido de hidrogeno	18 ml	0,752

Tabla 10: resultados de prueba #8 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)
Fuente: Autor.

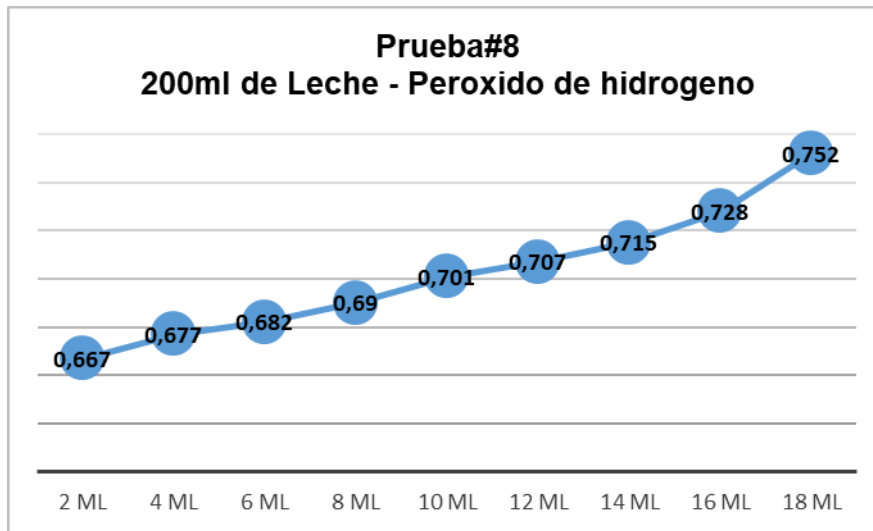


Gráfico 8: resultados de prueba #8 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)
Fuente: Autor.

3.9 Prueba#9: aire-leche-formaldehido

En la prueba#9, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,608 voltios. En el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor interna en 200 ml de leche, arrojando una información de 0,798 voltios, generando una diferencia de 0,19 voltios. En el tercer paso se agregó a la leche(solvente), una cantidad determinada de peróxido de formaldehido(soluto), la cual tenía una variación de 2

ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se mostraron cambios en el voltaje, como se muestra en la tabla.

PRUEBA #9			
AIRE	0,608V		
LECHE	0,798v		
200 ML LECHE(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Formaldehido	2 ml	0,818
2	Formaldehido	4 ml	0,821
3	Formaldehido	6 ml	0,824
4	Formaldehido	8 ml	0,827
5	Formaldehido	10 ml	0,83
6	Formaldehido	12 ml	0,833
7	Formaldehido	14 ml	0,836
8	Formaldehido	16 ml	0,839
9	Formaldehido	18 ml	0,842

Tabla 11: resultados de prueba #9 (aire-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.

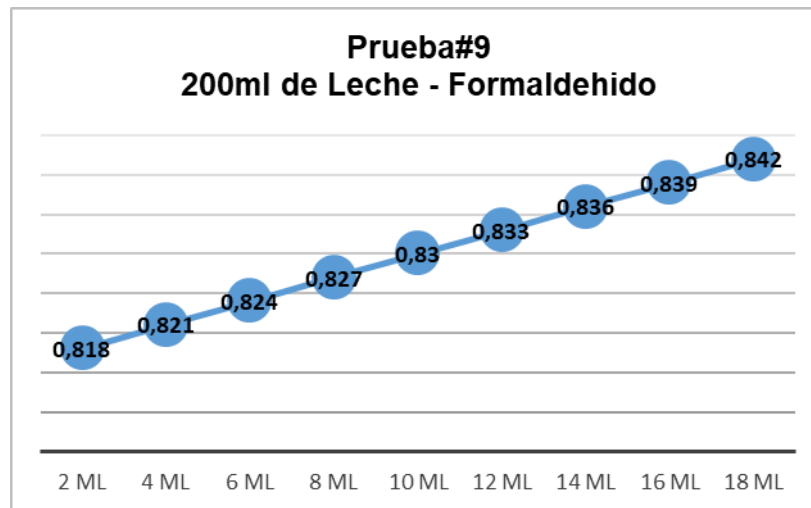


Gráfico 9: resultados de prueba #9 (aire-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.

3.10 Prueba#10: aire-leche-peróxido de hidrogeno

En la prueba#10, se evidencia que para la obtención de los resultados fueron implementados diferentes pasos, en el primer paso se tomaron datos con la fibra óptica del sensor en el aire, haciendo una detección de 0,595 voltios. En el segundo paso se tomaron los datos con la fibra del sensor internada en 200 ml de leche, arrojando una información de 0,819 voltios, generando una diferencia de

0,224 voltios, en el tercer paso se agregó a la leche(solvente), una cantidad determinada de peróxido de peróxido de hidrogeno(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor obtiene datos donde se mostraron cambios en el voltaje, como se muestra en la tabla.

PRUEBA #10			
AIRE		0,595v	
LECHE		0,819v	
200 ML LECHE(solvente)			
#	SOLUTO	CANTIDAD	VOLTAJE (mV)
1	Peroxido de hidrogeno	2 ml	0,82
2	Peroxido de hidrogeno	4 ml	0,821
3	Peroxido de hidrogeno	6 ml	0,831
4	Peroxido de hidrogeno	8 ml	0,836
5	Peroxido de hidrogeno	10 ml	0,841
6	Peroxido de hidrogeno	12 ml	0,847
7	Peroxido de hidrogeno	14 ml	0,853
8	Peroxido de hidrogeno	16 ml	0,858
9	Peroxido de hidrogeno	18 ml	0,864

Tabla 12: resultados de prueba #10 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)
Fuente: Autor.

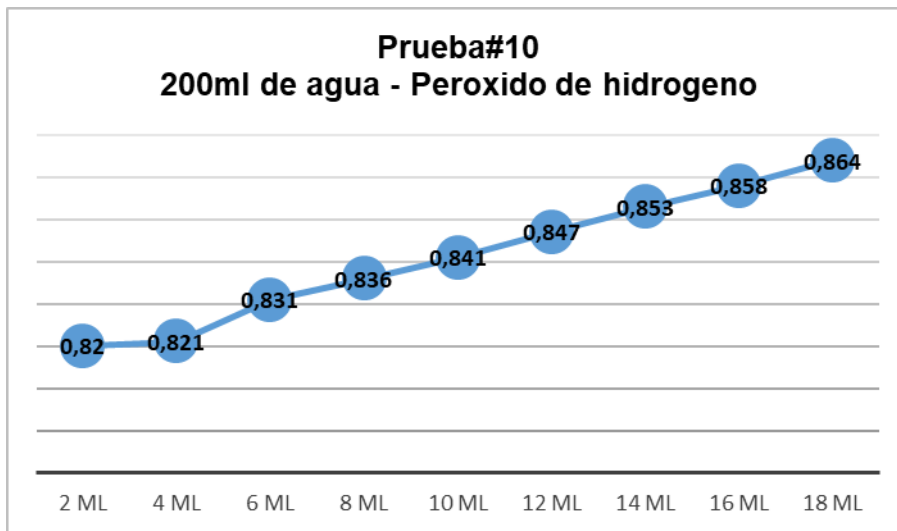


Gráfico 10: resultados de prueba #10 (aire-leche-peróxido de hidrogeno)
Fuente: Autor.

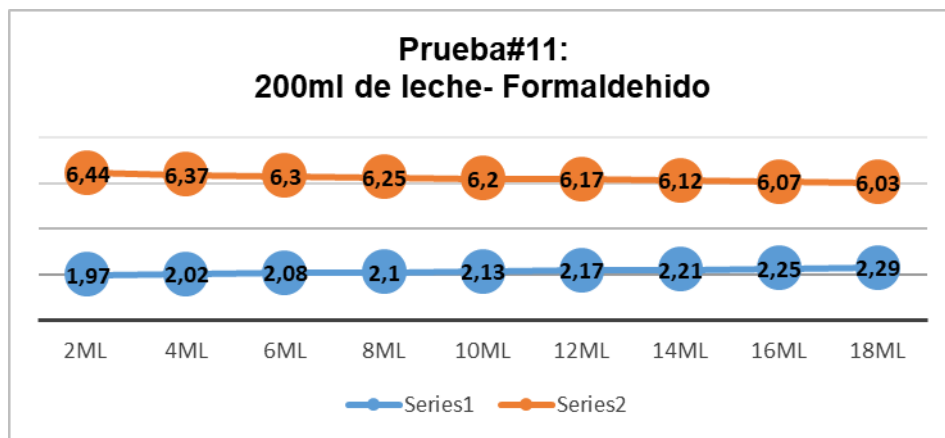
3.11 Prueba#11: aire-agua-leche-formaldehido

En la prueba#11, se evidencia que los resultados fueron obtenidos en diferentes pasos: En el primer paso se tomaron los datos con la fibra óptica del sensor y el pH-metro en el aire, arrojando datos donde se evidencian los valores iniciales de cada uno de los equipos. En el segundo paso se tomaron los datos en 200 ml de leche(solvente) con cada uno de los equipos anteriormente mencionados. En el tercer paso se agregó a la leche(solvente) una cantidad determinada de formaldehido(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección,

demostrando que el sensor y el pH-metro obtienen datos donde se exponen cambios en el voltaje y en el pH, evidenciando que los cambios en cada uno de los equipos aumentan en igual proporción, como se muestra en la tabla.

temperatura 24 grados			
PRUEBA #11			
200 ML			
SENSOR POF	VOLTAJE	PH	VOLTAJE EN PH
AIRE	0,533V	4,81	135 mV
AGUA	1,32V	7,8	3 mV
LECHE	1,70V	6,69	24 mV
200 ML DE LECHE			
CANTIDAD	POF	PH METRO	
FORMALDEHIDO	VOLTAJE	PH	VOLTAJE
2ml	1,97	6,44	38 mV
4ml	2,02	6,37	43 mV
6ml	2,08	6,3	47 mV
8ml	2,1	6,25	50 mV
10ml	2,13	6,2	53 mV
12ml	2,17	6,17	54 mV
14ml	2,21	6,12	57 mV
16ml	2,25	6,07	60 mV
18ml	2,29	6,03	63 mV

Tabla 13: resultados de prueba #11 (aire-agua-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.



serie1: voltaje - Serie2: PH

Gráfico 11: resultados de prueba #11 (aire-agua-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.

3.12 Prueba#12: aire-agua-leche-formaldehido

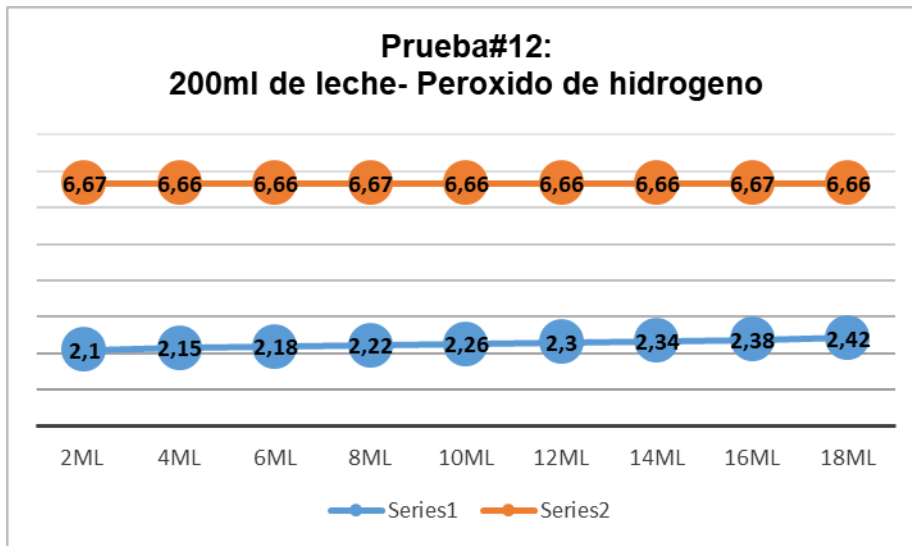
En la prueba#12, se evidencia que los resultados fueron obtenidos en diferentes pasos: En el primer paso se tomaron los datos con la fibra óptica del sensor y el pH-metro en el aire, arrojando datos donde se evidencian los valores iniciales de

cada uno de los equipos. En el segundo paso se tomaron los datos internando cada uno de los equipos en 200 ml de leche(solvente). En el tercer paso se agregó a la leche(solvente), una cantidad determinada de peróxido de hidrogeno(soluto), la cual tenía una variación de 2ml para su detección, demostrando que el sensor y el pH-metro obtienen datos donde se exponen cambios en el voltaje y en el pH, evidenciando que los cambios en cada uno de los equipos aumentan en igual proporción, como se muestra en la tabla.

temperatura 24 grados			
PRUEBA #12			
200 ML			
SENSOR POF	VOLTAJE	PH	VOLTAJE EN PH
AIRE	0,978	5,14	117 mV
AGUA	2,12	7,06	2 mV
LECHE	2,15	6,67	25mV

200 ML DE LECHE			
CANTIDAD	POF	PH METRO	
PEROXIDO DE HIDROGENO	VOLTAJE	PH	VOLTAJE
2ml	2,1	6,67	25mV
4ml	2,15	6,66	16mV
6ml	2,18	6,66	13mV
8ml	2,22	6,67	10mV
10ml	2,26	6,66	9mV
12ml	2,3	6,66	7mV
14ml	2,34	6,66	6mV
16ml	2,38	6,67	5mV
18ml	2,42	6,66	3mV

Tabla 14: resultados de prueba #12 (aire-agua-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.



serie1: voltaje - Serie2: PH

Gráfico 12: resultados de prueba #12 (aire-agua-leche-formaldehido)
Fuente: Autor.

Luego de haber obtenido los resultados producto de la fase de pruebas en laboratorio, se interpreta que el sensor es capaz de detectar modificaciones y alteración en el componente lácteo, luego de perturbar su composición química por medio de varios solutos. Estas variaciones químicas de la leche se traducen en niveles de voltaje.

4. Conclusiones y recomendaciones:

El proyecto realizado arrojó diferentes resultados, los cuales, analizándolos independientemente, en cada uno de estos se concluye que:

- El circuito diseñado cumplió con los parámetros que eran necesarios para su funcionamiento ya que este permitió la realización de las diferentes pruebas y tomar los datos requeridos sin modificaciones significativas.
- El soporte del sensor es el adecuado para trabajo en campo, puesto que el material de su construcción permite el trabajo en ambientes agrícolas, que garantizan la correcta fijación de la fibra, siendo clave en la toma de mediciones.
- El sistema de detección cumple con los objetivos propuestos en el proyecto, ya que el sensor identifica alteraciones, logrando garantizar que la leche que se tiene no presenta químicos en sus componentes.

En base a los resultados obtenidos se realizan las siguientes recomendaciones:

- Tener en cuenta diferentes variables que pueden influir los resultados a obtener, por ejemplo: la temperatura, la luminosidad en el ambiente y la presencia de corrientes de aire.
- Para el buen funcionamiento del dispositivo se requiere que la fibra óptica no presente movimiento alguno, ya que este puede influir en los resultados a obtener.
- Para estudios futuros se propone que se realice envío de los datos obtenidos a un servidor web o un aplicativo móvil, los cuales, en tiempo real, guarden la información y realice gráficas de los datos obtenidos.

5. Bibliografía

- [1] Jahir lombana coy, d. m. (2012). caracterización del sector ganadero colombiano. universidad del norte editorial, asoganorte, 2.
- [2] Ganadero, c. (23 de septiembre de 2014). el ranking ganadero en colombia es liderado por antioquia. obtenido de <http://www.contextoganadero.com/regiones/el-ranking-ganadero-en-colombia-es-liderado-por-antioquia>.
- [3] Vargas, t. (2000). calidad de la leche: visión de la industria láctea. venezuela: fundación inlaca; faculta de ciencias veterinarias, ucv.-x congreso venezolano de zootecnia / asociación venezolana de producción animal avpa.
- [4] Cabrera, m. (mayo de 2014). vix. obtenido de <http://www.vix.com/es/imj/salud/146715/que-es-la-leche-cruda>.
- [5] Valle, d. (1983). conservadores-preservadores. buenos aires: bol. acad. nac. medicina.
- [6] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España: Ficha internacional de seguridad química del formaldehído.
- [7] Björck, K., Claesson, O. and Schulthes, J. 1979. The lactoperoxidase and thiocyanate/ hydrogen peroxide system on a temporary preservative in raw milk in developing country. *Milchwiss* 34:12-19.
- [8] Revilla, Aurelio. Tecnología de la leche; procesamiento, manufactura y análisis; carbonato de sodio, 163.
- [9] mintic. (s.f.). mintic. obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>
- [10] Garrasco vega, j. p.-o. (2014). determinación de residuos de antibióticos y peróxido de hidrógeno (h₂o₂) en leche fresca comercializada en el distrito de chiclayo, mayo - noviembre 2013. chiclayo: universidad nacional pedro ruiz gallo.
- [11] Ortuño, n. p. (julio 2015). comparación de los métodos convencionales y equipo digital ultrasónico (ekomilk), en el análisis físico-químico de leche cruda, aplicando el método estadístico de bland- altman. quito: universidad central del ecuador.
- [12] Carvallo, j. o. (2009). evaluación de un sistema de muestreo automático para leche cruda. determinación de recuento total de bacterias y recuento de células somáticas. valdivia – chile : universidad austral de chile-facultad de ciencias agrarias -escuela de ingeniería en alimentos.

[13] Castillo zumba, p. f.-o. (2015). determinación de la alteración-adulteración de leche cruda mediante análisis físico-químicos en medios de transporte legalizados, provenientes de la parroquia tarqui, cantón cuenca. cuenca: repositorio institucional universidad de cuenca.

[14] Laboratorio de Propiedades Dieléctricas de la Materia, Dpto. de Física, FACET, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina/ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina/ Departamento de Bioingeniería, FACET, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina; Álvaro J. Conde a, Rossana E. Madrid y Mónica Tirado

[15] Hayber, o. g. (9 december 2016). bent fiber sensor for preservative detection in milk. sensors. Department of Electrical and Electronic Engineering, Erciyes University, Kayseri 38039, Turkey. saracog@erciyes.edu.tr.