



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
UNIDAD ZACATENCO



“Caracterización térmica y óptica de biomateriales mediante sistema fotoacústico multi-LED: Visión transdisciplinaria”

TESIS

DOCTORADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

PRESENTA

M en C. MARCO ANTONIO CARRASCO PACHECO

DIRECTOR

DR. FLAVIO ARTURO DOMÍNGUEZ PACHECO

RESUMEN

El desarrollo tecnológico y la investigación en México y en el mundo es un agente muy importante y detonador de la economía y del progreso de la sociedad una forma de contribuir a ello es mediante este trabajo de tesis titulado: Caracterización térmica y óptica de biomateriales mediante sistema fotoacústico multi-LED: Visión transdisciplinaria en el cual se desarrolla una investigación teórico practica por medio del desarrollo de un prototipo de medición de parámetros ópticos y térmicos en distintos tipos de materiales los cuales se desarrollaran en las diferentes actividades de investigación y dentro de los que predominan las sustancias liquidas de consumo alimenticio como parte de su análisis realizando diferentes tipos de comparaciones con otras técnicas igualmente establecidas para su caracterización, resaltando la importancia del desarrollo de técnicas alternativas de análisis, como este en materiales complejos como los orgánicos o los biológicos y que este caso se obtuvieron resultados comparativamente semejantes con otros métodos, permitiendo responder de manera semejante, asimismo concluyendo en que se pueden implementar y desarrollar equipamiento para este tipo de investigación compleja, esto gracias a la implementación de técnicas de manufactura como la impresión 3D, el diseño de dispositivos electrónicos físicos en software y la conjunción de los mismos a través particularmente de la implementación del fenómeno fotoacústico como principal factor de desarrollo y estudio para el desarrollo de este trabajo.

ABSTRACT

Technological development and research in Mexico and the world is a very important agent and trigger for the economy and the progress of society, one way to contribute to this is through this thesis entitled: Thermal and optical characterization of biomaterials by system foto-acoustic multi-LED: Transdisciplinary vision in which a practical theoretical research is developed through the development of a prototype of optical and thermal parameters measurement in different types of materials which will be developed in the different research activities and within which liquid substances of food consumption predominate as part of their analysis, making different types of comparisons with other techniques equally established for their characterization, highlighting the importance of the development of alternative analysis techniques, such as this in complex materials such as organic or biological this In this case, comparative results were obtained with other methods, allowing responding in a similar way, also concluding that equipment for this type of complex research can be implemented and developed, thanks to the implementation of manufacturing techniques such as 3D printing, the design of physical electronic devices in software and the conjunction of them through, in particular, the implementation of the photoacoustic phenomenon as the main factor of development and study for the development of this work.

ÍNDICE

Contenido

ÍNDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE ACRÓNIMOS	v
GLOSARIO	vi
INTRODUCCIÓN	x
Presentación del proyecto de tesis	x
Presentación del documento de tesis	xii
CAPÍTULO 1 CONTEXTO Y FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Contexto de la investigación.....	2
1.1.2 Contexto socio-cultural	3
1.1.3 Contexto físico	8
1.1.4 Contexto de la sistémica	9
1.1.5 Contexto de la caracterización de materiales	14
1.2 Fundamento de la técnica Fotoacústica	22
1.2.1 Diodo Emisor de Luz.....	24
1.3 Justificación.....	25
1.4 Objetivos	26
1.4.1 Objetivo general	26
1.4.2 Objetivos particulares	26
1.4.3 Hipótesis.....	27
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	29
2.1 Marco teórico	30
2.1.1 Pensamiento sistémico.....	30
2.2. Ciencias aplicadas	32
3.2.2 Teoría de control	32
2.3 Marco metodológico.....	35
2.3.1 Metodología para el desarrollo de la investigación	36
CAPÍTULO 3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	39
3.1 Investigación del mundo real.....	40

3.1.1	Conocimiento de la problemática	40
3.2	Fase II investigación Sujeto-investigador.....	41
Análisis FODA personal		42
3.3	Fase III Investigación experimental.....	43
3.3.1	Actividad de investigación 1; Montaje experimental 1	43
3.3.2	Actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil.....	51
3.3.3	Actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.	68
3.3.4	Actividad de investigación 4: Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza	84
3.3.5	Actividad de investigación 5: Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil	114
CAPÍTULO 4	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	125
4.1.1	Discusión de la actividad de investigación 1	126
4.1.2	Discusión de la actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil	126
4.1.3	Discusión de la actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.	127
4.1.4	Discusión de la actividad de investigación 4; Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza	128
4.1.5	Discusión de la actividad de investigación 5: Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil.....	128
4.2.1	Conclusiones de la actividad de investigación 1	129
4.2.2.	Conclusiones de la actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil.....	129
4.2.3	Conclusiones de la actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.	129
4.2.4	Conclusiones de la actividad de investigación 4; Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza.....	130
4.2.5	Conclusiones de la actividad de investigación 5; Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil	130
4.3.	Conclusiones generales	131
5	REFERENCIAS.....	134
6	ANEXOS	140
6.1	Calidad Alimentaria	140

6.1.1 Contexto de la cerveza.....	140
6.2.1. Proceso de patentamiento	145
ANEXO HOJAS TÉCNICAS	191

LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1.1	Tópicos de interés en el mundo	2
1.2	Investigadores dedicados a investigación y desarrollo	4
1.3	Árbol de problemas	4
1.4	Porcentaje de población con educación superior respecto de grupos 25-34 (•) y 55-64 (◊) de edad	5
1.5	Visión holística del panorama mundial y local de los problemas actuales	7
1.6	Contexto físico de la investigación	8
1.7	Mapa de localización de los centros y universidades alrededor del mundo aplicando y desarrollando técnicas fototérmicas	9
1.8	Personajes históricos que aportaron en el pensamiento sistémico	10
1.9	Dispositivos e instrumentaciones utilizadas en métodos instrumentales	16
1.10	Esquema de algunos fenómenos fototérmicos	22
1.11	Dispositivos LED de alta intensidad	25
2.1	Camino de solución de un problema con la visión sistémica	32
2.2	Espectro electromagnético como función de la frecuencia y la longitud de onda	34
2.3	Metodología para la realización de la investigación	37
3.1	FODA sujeto investigador	42
3.2	A) Diagrama esquemático del prototipo B) Imagen del prototipo	44
3.3	Diagrama esquemático de la instrumentación tradicional	46
3.4	Graficas de comportamiento de las de señales FA portátil y montaje de laboratorio.	47
3.5	Valores de los parámetros de ajuste de curva de las de señales FA portátil y montaje de laboratorio.	49
3.6	Comparativa de señales a distintos rangos de longitud de onda	50
3.7	Procedimiento de caracterización de linealidad	53
3.8	Caracterización de la respuesta en frecuencia del preamplificador	54
3.9	Comprobación de software de control y procesamiento	55

3.10	Vista de los componentes internos de los medios de captura de señal	56
3.11	Mejoramiento del proceso de preamplificación de la señal FA	58
3.12	Visualización del proceso de obtención de fase de la señal de caracterización	59
3.13	Obtención de ángulo de fase mediante interpretación de graficas	59
3.14	Respuesta en frecuencia de esfasamiento de señal	60
3.15	Respuesta en frecuencia de la amplitud de señal	60
3.16	Montaje experimental para la obtención de la respuesta de emisión de dispositivos LED de alta intensidad.	63
3.17	Procedimiento de captura de espectro de emisión de LED de alta intensidad	64
3.18	Toma de medición de intensidades de radiación de LED de alta intensidad	65
3.19	Espectros de Emisión de LED utilizados en el Sistema FA	65
3.20	Intensidades de radiación vs color de LED vs separación de medición.	66
3.21	Prueba de lentes y fabricación de soporte por impresión 3D.	72
3.22	Proceso de implementación de maquinado de celda por impresión 3D.	73
3.23	Incorporaciones de piezas y puesta en marcha del prototipo modificado	75
3.24	Señales de amplitud y fase con el contenedor sin complemento inferior.	75
3.25	Señales de amplitud y fase con el contenedor vacío y celda cerrada	76
3.26	Señal FA de muestra de aceite	77
3.27	Señal FA de muestra de aceite diluido	78
3.28	Sistema FA etapa de rediseño y modificaciones	79
3.29	Proceso de obtención de las señales FA para modo de excitación directo	80
3.30	Proceso de obtención de las señales FA para modo de transmisión.	81
3.31	Sistema FA portátil	83
3.32	Interfaz gráfica de usuario del sistema FA portátil	84
3.33	Montaje de Espectroscopia Fotoacústica (EFA) en Cinvestav-campus C.d de México	89
3.34	Equipo de laboratorio de Espectroscopia UV-VIS	91
3.35	Equipo de laboratorio de Espectroscopia IR.	92
3.36	Sistema fotoacústico portátil	93

3.37	Espectro de absorción fotoacústico de siete distintos tipos de cervezas	95
3.38	Espectro de absorción UV-VIS de cervezas tipo Lager y Ale	98
3.39	Variación de color en las cerveza en unidades SRM	102
3.40	Espectro de transmisión IR -de cervezas tipo Lager y Ale	104
3.41	Señal fotoacústica en función de la frecuencia de modulación de cervezas estilo Lager y Ale: sistema fotoacústico portátil	105
3.42	Fase de la señal fotoacústica en función de la frecuencia de modulación de cervezas estilo Lager y Ale: sistema fotoacústico portátil	105
3.43	Fase de la señal fotoacústica ajustada: sistema portátil	108
3.44	Tiempos de relajación no radiativos de cervezas	108
3.45	Comparación de intensidades de absorción a diferentes longitudes de onda y frecuencias de modulación: sistema FA portátil	110
3.46	Primera derivada del Espectro de absorción Fotoacústico de cervezas tipo Lager y Ale	111
3.47	Primera derivada del Espectro de absorción UV-VIS de cervezas tipo Lager y Ale	112
3.48	Convolución de los espectros de absorción UV- VIS	112
3.49	Convolución de los espectros de absorción Fotoacústicos	113
3.50	Proceso de medición de muestras de azúcar refinada	117
3.51	Proceso de mezclado de muestras	118
3.52	Medición de grados Brix de muestras	119
3.53	Sistema fotoacústico portátil	120
3.54	Sistema fotoacústico portátil extensión	121
3.55	Concentración de disolución de azúcar vs grados Brix	121
3.56	Señal FA sistema portátil medición de azúcar	122
3.57	Señales FA vs % de disolución cerveza en agua: celda	123
3.58	Señales FA vs % de disolución cerveza en agua: sistema FA portátil	124
3.59	Ajuste de comportamiento del sistema FA portátil	124

LISTA DE ACRÓNIMOS

ONU: Organización mundial de la salud

ETN: Enfermedad No Transmisible

OMS: Organización Mundial de la Salud

IMPI: Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ALI: Amplificador Lock-In.

EFA: Espectroscopia Fotoacústica.

FA: Fotoacústica.

FT: Fototérmica.

IDE: Integrated Development Environment (Ambiente Integrado de Desarrollo).

PC: Personal Computer (Computadora Personal).

PECITI: Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación

LED: Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz).

NIR: Resonancia magnética nuclear

SEM: scanning electron microscope (microscopio electrónico de barrido)

RMN: Resonancia magnética nuclear

IPN: Instituto Politécnico Nacional

CINVESTAV: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

GLOSARIO

ANÁLISIS: se emplea para determinar la cantidad de cada elemento o ingrediente en una sustancia con el objeto de identificar los componentes de una sustancia (DLE, 2017).

ANALITO: Componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra. Son especies químicas cuya presencia o concentración se desea conocer, es decir, se puede determinar su cantidad y concentración en un proceso de medición química, constituye un tipo particular de mensurando en la metrología química (RAI, 2012).

APTITUD: Capacidad para operar competentemente en una determinada actividad. Siendo la cualidad que hace que un objeto sea apto, adecuado o acomodado para cierto fin (DLE, 2017)

BIOMATERIAL: son aquellos materiales, ya sean naturales o sintéticos, vivos o sin vida, y generalmente compuestos de múltiples componentes que interactúan con los sistemas biológicos (NATURE, 2017).

CALIDAD DE VIDA: percepción individual de su posición en la vida en el contexto de la cultura y los sistemas de valores en los que viven y en relación con sus objetivos, expectativas, normas y preocupaciones. Es un concepto amplio que se ve afectado de forma compleja por la salud física de la persona, el estado psicológico, las creencias personales, las relaciones sociales y su relación con las características principales de su entorno (OMS, 2018).

CAPACIDAD TÉRMICA: capacidad de un material para almacenar energía térmica

CIBERNÉTICA: campo interdisciplinario que intenta abarcar el ámbito de los procesos de control y de comunicación (retroalimentación) tanto en máquinas como en seres vivos. (N.Wiener.1979).

CIENCIA: Rama del saber humano constituida por el conjunto de conocimientos objetivos y verificables sobre una materia determinada que son obtenidos mediante la observación y la experimentación, la explicación de sus principios y causas y la formulación y verificación de

hipótesis y se caracteriza, además, por la utilización de una metodología adecuada para el objeto de estudio y la sistematización de los conocimientos (Oxford UP, 2017).

DATOS: Información concreta sobre hechos, elementos, etc., que permite estudiarlos, analizarlos o conocerlos (Oxford UP, 2017).

DISEÑO: actividad creativa orientada a soluciones, que trabaja en intervenciones concretas. Itera sobre representaciones parciales para construir, refinar y evaluar la manera en que la intervención cambiará el mundo. Convoca múltiples actores y saberes para imaginar y desencadenar el cambio (UA, 2016).

DIFUSIVIDAD TERMICA: es la razón de la conductividad térmica a la capacidad térmica y mide la capacidad de un material para conducir energía térmica en relación para almacenar energía térmica (Incropera, *et al*, 199).

ENFERMEDAD: Alteración o desviación del estado fisiológico en una o varias partes del cuerpo, por causas en general conocidas, manifestada por síntomas y signos característicos, y cuya evolución es más o menos previsible (OMS, DOF, 2016).

EPIDEMIA: Enfermedad que se propaga durante algún tiempo por un país, acometiendo simultáneamente a gran número de personas o siendo un mal o daño que se expande de forma intensa e indiscriminada (DLE, 2017).

ELEMENTO: Se entiende por elemento de un sistema las partes o componentes que lo constituyen. Estas pueden referirse a objetos o procesos. Una vez identificados los elementos pueden ser organizados en un modelo (Arnold, 1988)

ESPECTROSCOPIA: Es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia (Takeuchi, 2012).

EXPERIMENTO: Es un procedimiento mediante el cual se trata de comprobar (confirmar o verificar) una o varias hipótesis, relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación de la o las variables que presumiblemente son sus causas. (Vaquerizo, 2016)

MATERIAL BIOLÓGICO: Son los materiales resultantes de un largo proceso evolutivo y muestran el final de un proceso de evolución de más de 4000 millones de años por parte de

la naturaleza siendo multifuncionales y exhibiendo simultáneamente varias propiedades. (Elices, 2000)

FACTOR DE RIESGO: Un factor de riesgo es cualquier rasgo, característica o exposición de un individuo que aumente su probabilidad de sufrir una enfermedad o lesión. (OMS, 2018).

HIPÓTESIS: Suposición hecha a partir de unos datos que sirve de base para iniciar una investigación o una argumentación (Oxford UP, 2017).

INTERACCIÓN: Cualquier intercambio entre elementos, subsistemas o sistemas

PROBLEMA: Planteamiento de una situación cuya respuesta desconocida debe obtenerse a través de métodos científicos (DEL, 2017).

PROGRAMA: un programa informático es simplemente una lista de instrucciones paso a paso que se dan al equipo para que las lleve a cabo una a una. Cada una de las instrucciones se denomina sentencia (Adobe, 2017).

PORTÁTIL: Aquel objeto movable y fácil de transportar (DLE, 2017).

RETROALIMENTACIÓN: Característica de regulación por la cual se recicla una porción de la salida, generalmente la diferencia entre resultados real y deseado a la entrada, a fin de mantener al sistema entre los umbrales de equilibrio (Van Gigch, 1993).

SALUD: Estado de completo bienestar físico, mental y social, no simplemente la ausencia de enfermedad (OMS, 2017).

SISTEMA: Es un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo. (Van Gigch, 1993)

SOFTWARE: son todos aquellos conceptos actividades, procedimientos que dan como resultados la generación de programas para un sistema de computación (Ramírez, 1986).

SUBSISTEMA: conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las

mismas propiedades que los sistemas (sinergia) y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos (Arnold, 1988).

TECNOLOGÍA: Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico (Pavón, 2012).

TRANSDISCIPLINARIEDAD: tentativa por conseguir el equilibrio entre el saber y el ser (Basarab, 2008).

VIABILIDAD: Indica una medida de la capacidad de sobrevivencia y adaptación (morfoestasis, morfogénesis) de un sistema a un medio en cambio (Arnold, 1988).

VISIÓN SISTÉMICA: alternativa al modelo de fragmentación del saber, ayudando a unir las partes de un todo que se ha desintegrado, lo que nos permite comprenderlo, intervenirlo y transformarlo (Correa *et al*, 2017)

INTRODUCCIÓN

Presentación del proyecto de tesis

El ser humano desde el comienzo de su existencia se ha dado a la tarea de conocer el medio ambiente que lo rodea y su propio ser, de manera directa e indirecta en forma sensorial o con herramientas de medición, siendo primordial para su convivencia, supervivencia y crecimiento.

De tal manera que al medir lo que percibimos, mediante las propiedades del propio objeto de estudio y poderlo expresar por medio de cuantificación numérica; se conoce sobre él, de manera más profunda y particular. Sin embargo cuando no se puede expresar numéricamente, es decir, no se puede medir el objeto de estudio, el conocimiento que se puede adquirir es insatisfactorio y limitado (Pérez Sánchez, 2012).

De esta forma, las ciencias, como la física o la química se caracterizan por la necesidad de medir características de los objetos de estudio, para así poder determinar sus propiedades y componentes; las caracterizaciones de los objetos de estudios y en general de la naturaleza, se realizan de distintas maneras, como la observación o la comparación visual, sin embargo la evolución de la tecnología ha permitido el incremento de las posibilidades de la misma, desarrollando e investigando mediante técnicas e instrumentos capaces de otorgar las características físicas y químicas de los objetos de estudio en la totalidad o en sus partes; y ya que diversos problemas mundiales influyen en la vida cotidiana del ser humano, dentro de los cuales se encuentran por ejemplo complicaciones en la salud, las cuales requieren del conocimiento de las causas que las generan, o los cambios físico-químicos y las alteraciones que provocan en el cuerpo humano, y esto se puede alcanzar por medio de las herramientas de diagnóstico adecuadas, mediante la implementación y desarrollo de tecnología alternativa con accesibilidad económica, portabilidad, inventiva y desarrollo de acuerdo a las necesidades intrínsecas de cada área de interés.

Con este enfoque se podría tener un aprovechamiento para lograr herramientas complementarias a los medios que actualmente existen, de tal manera que se encuentren conocimientos adicionales para satisfacer estos problemas; es por ello que el planteamiento del presente trabajo es implementar y proponer el caracterizar biomaterial a través de técnicas

utilizadas en otros campos de investigación como lo son las técnicas fototérmicas, para tener un marco de referencia adicional de conocimientos, basados en la obtención de sus propiedades físicas dentro de las cuales se encuentran las térmicas y ópticas, comparándolas y discutiendo, respecto a parámetros que actualmente pueden estar no reconocidos y poder contribuir con nuevo conocimiento en las áreas de la tecnología y la ingeniería por medio de la visión ingeniería de sistemas.

Ya que el desarrollo tecnológico del país es necesario e imprescindible; de tal manera con esta investigación el equipo de trabajo de suma a distintos grupos de investigación en el mundo que plantean la portabilidad de la técnicas fototérmicas, incluso Nieto (2016), lo vislumbra como el futuro de las mismas. Debido a que pueden tener diversas aplicaciones en distintas áreas científicas, lo cual tiene relevancia en un país en vías de desarrollo como México.

Presentación del documento de tesis

El cumplir con los requerimientos necesarios para satisfacer el objetivo específico y objetivos particulares, requirió de la estructuración del presente documento en cuatro apartados de igual manera como complemento se adicionó las referencias bibliográficas junto con los anexos.

En el capítulo uno, se establecen el contexto y fundamentos de la investigación, por lo que se investigaron y analizaron el contexto histórico de la ciencia de sistemas, la ciencia de los materiales, del estudio de la luz al igual que el contexto relacionado con los aspectos que involucran a la salud en su estado actual; el contexto físico, en el cual se menciona los personajes que trabajan temas afines, y las instituciones y medios que permitieron el desenlace del trabajo presente, además se presenta la justificación por la que se realizó el presente trabajo.

En el capítulo dos, se desarrollan el marco teórico y metodológico estudiando variedad de conceptos y temas en las áreas de las ciencias incluyendo parte de su teoría, y realizando su implementación a partir de un marco metodológico basado en la visión sistémica transdisciplinaria.

En el capítulo tres, se ejecuta la aplicación de la metodología para el desarrollo de los objetivos, desarrollando propuestas e implementaciones de prototipos, que permiten un crecimiento en el nivel de aprendizaje a través del avance progresivo e incremental de la metodología adquiriendo datos, resultados e información para así responder las preguntas de investigación y las hipótesis propuestas.

En el capítulo cuatro, se realizan las discusiones y análisis de resultados obtenidos en el trabajo de investigación desarrollado en la tesis correspondiente a los tres primeros capítulos, de tal manera que se pueda evidenciar mediante la crítica objetiva y científica las aportaciones generadas, las resoluciones a las hipótesis y preguntas de investigación, los objetivos particulares y al objetivo general, y proponiendo posibles seguimientos y trabajos futuros a realizar



CAPÍTULO 1 CONTEXTO Y FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Contexto de la investigación

El contexto de esta investigación está asociado a ubicar el entorno de que origina y se lleva a cabo la misma investigación, con preguntas tales como los tipos y las problemáticas que existen en los distintos niveles mundial, nacional y local, observando y analizando que avances, qué respuestas y qué soluciones se han obtenido hasta el momento.

A partir de esto se presenta la investigación documental, se tiene que:

En el mundo existe diversidad de temas de interés de los cuales surgen diferentes problemas; dentro de los asuntos de interés mundial se concuerda por diferentes organizaciones que el cambio climático, la alimentación, ciencia, tecnología, innovación y la salud vistos en la Figura 1.1, son parte fundamental de los temas pilares que se deben de abordar y dar solución.

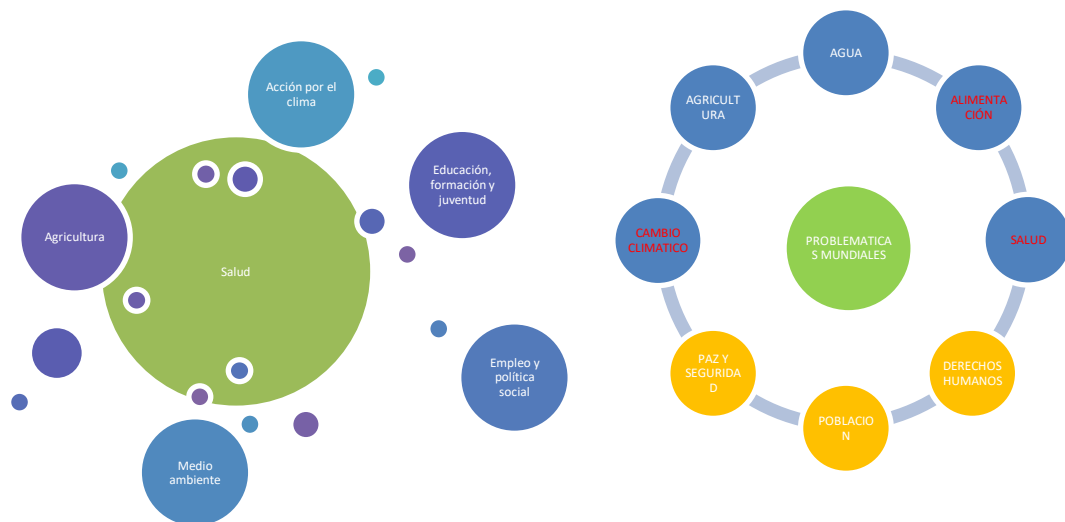


Figura 1.1. Tópicos de interés en el mundo (UE ,2016; ONU, 2016)

Esta problemática ha ido aumentando por el incremento de la población; en 1950, se estimaba que la población mundial era de 2.600 millones de personas. Se alcanzaron los 5.000 millones en 1987 y, en 1999, los 6.000 millones, y a mediados de 2015, la población mundial alcanzó los 7.300 millones de personas, lo que significa que, en 12 años, el número de personas en el mundo aumento en 1.000 millones, con esta misma tendencia para las próximas décadas.

Este crecimiento tan drástico se ha producido en gran parte por el crecimiento del número de personas que sobreviven hasta llegar a la edad reproductiva y acompañado de grandes cambios en las tasas de fecundidad, lo que ha aumentado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios. Estas tendencias tendrán importantes repercusiones para las generaciones venideras (ONU, 2017).

México no es ajeno a estos temas, ya cuenta con una población aproximada de 120 millones de habitantes con una diferencia evidente en términos sociales con una distribución de la riqueza que al igual que otros países en vías de desarrollo marcada en desigualdades en ingresos monetarios, servicios de salud y otros aspectos de calidad de vida. (INEGI, 2016).

1.1.2 Contexto socio-cultural

México cuenta con retrasos significativos en cuanto a su capacidad de generar y aplicar el conocimiento, dentro de las causas se encuentran la baja inversión, tanto pública como privada, que se destina al sector ciencia, tecnología e innovación, y de igual forma a un sistema educativo rígido, que no promueve la innovación, e insuficientemente vinculado con el ámbito productivo.

Un indicador altamente utilizado para medir las capacidades científicas y tecnológicas de un país es midiendo la cantidad de investigadores por cada mil miembros de la Población Económicamente Activa (PEA). al realizar esta comparación con los países miembros de la OCDE es desfavorable para México, alcanzando una cifra de 0.98 en 2012; la cual habría que multiplicarla por un factor de siete para acercarse al promedio de los países de la OCDE, estando muy por debajo de las demás naciones miembro (OCDE, 2015) y en la misma proporción en miles por cada millón para el año 2013 reflejado en el índice de Investigadores dedicados a investigación y desarrollo en un mapa mundial se tiene que se cuenta menos de 500 en México por cada millón de habitantes ver Figura 1.2 (UNESCO, 2013)



Figura 1.2. Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas) (BM, 2013).

El bajo crecimiento y desarrollo económico nacional depende de diferentes factores que se vinculan entre sí mismas relacionado por un árbol de problemas Figura 1.3

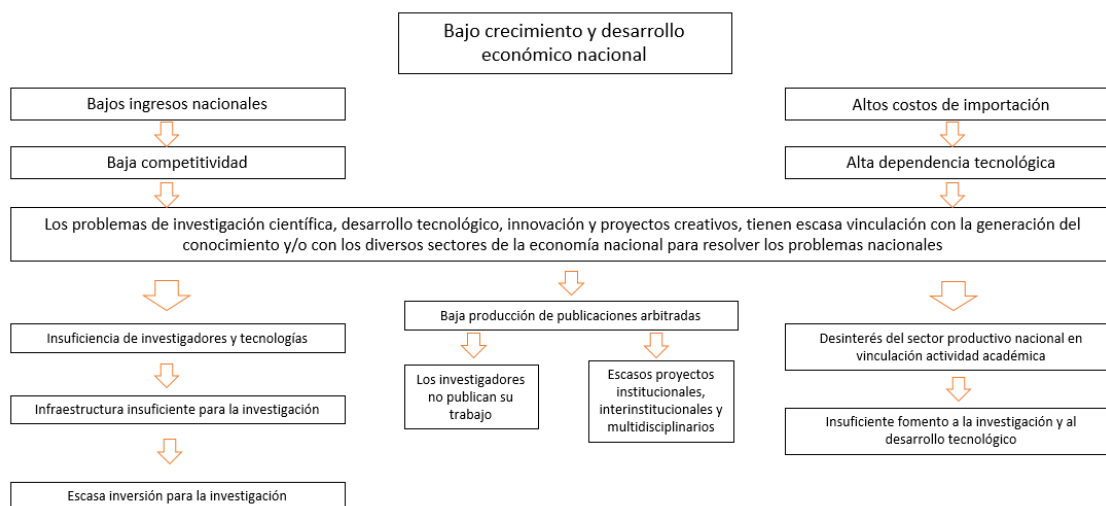


Figura 1.3. Árbol de problemas (SEP, 2015)

Una de las causas posibles en el limitado avance de desarrollo tecnológico se puede aludir a la falta de educación en grados superiores que promuevan y desempeñen el crecimiento de la misma, representado en la Figura 1.4 en forma de comparación de edades respecto del

nivel educativo alcanzado para miembros pertenecientes a la OECD, aunado al inversión por parte de los gobiernos en investigación y desarrollo que para el caso de México solo abarco menos del 1 % con tan solo un 0.6 % del total de producto interno bruto, en comparación al promedio de la OECD del 2.4 % o a las potencias económicas como estados unidos 2.8%, china 2.1% o Japón 3.5% (OECD, 2016).

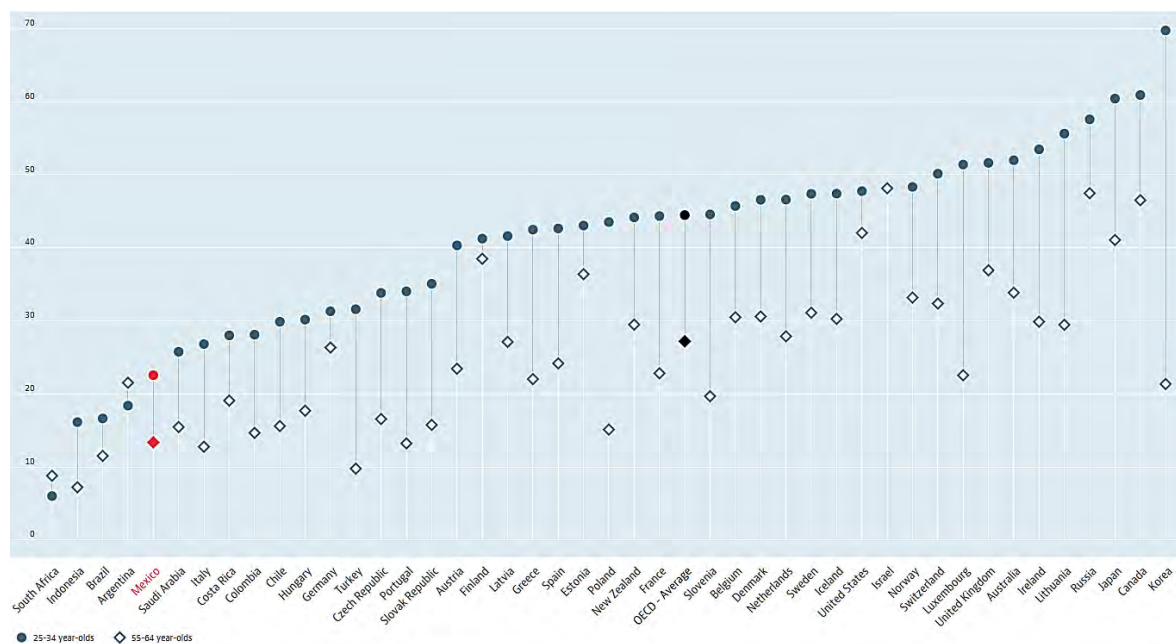


Figura 1.4. Porcentaje de población con educación superior respecto de grupos 25-34 (•) y 55-64 (◊) de edad (OECD, 2016).

El método de trabajo de la ciencia está experimentando un profundo cambio, y está teniendo lugar una transformación igualmente importante en el modo en que las empresas y sociedades innovan. Con la llegada de las tecnologías digitales la ciencia y la innovación se están volviendo más abiertas, cooperativas y globales. La innovación ocupa un lugar prominente en la estrategia de la UE para generar crecimiento y empleo (UE, 2016).

Entonces “¿Cuál es la relación entre la cultura y la tecnología? La cultura de una sociedad determina la índole (la forma y el contenido) del desarrollo tecnológico y la evolución de la cultura tecnológica. De ahí que la tecnología sea una empresa cultural que existe en distintos grados en todas las sociedades”. Es decir “la aplicación sistemática de varias ramas del saber

a problemas prácticos, los cuales varían de una región a otra, a causa del clima o de la geografía, o bien de otros factores que rigen el entorno en el que se vive”. (Urevbu, 2016)

En el ámbito de la salud y el bienestar todo el mundo aspira a una vida larga, sana y feliz, y los científicos hacen todo lo posible por conseguirlo. Se enfrentan a algunos de los principales problemas y amenazas actuales para la salud, como la difusión cada vez mayor de la enfermedad de Alzheimer, la diabetes y los «supermicrobios» resistentes a los antibióticos.

La rentabilidad de la inversión en la investigación y la innovación se reflejará en nuevas maneras de prevenir enfermedades, en mejores diagnósticos, en terapias más eficaces y en la adopción de nuevos modelos de atención sanitaria y nuevas tecnologías que fomenten la salud y el bienestar. Todo esto se basa en una mejor comprensión del carácter fundamental de la salud y la enfermedad y de los medios para promover la primera y prevenir y tratar la segunda. (UE, 2016)

Respecto de lo mencionado el índice mundial de innovación proporciona indicadores detallados de los resultados de la innovación en países y economías de todo el mundo. Mediante indicadores del índice, se analiza un amplio panorama de la innovación, que comprende el entorno normativo, la educación, la infraestructura y el grado de desarrollo empresarial

Según el Índice de Innovación Global, México ocupa el lugar 58 entre 127 economías en este ámbito, por debajo de países como EU (4), Japón (14), Malasia (37) o Chile (46) (WIPO 2017).

Las empresas son los actores principales de un sistema de innovación al transformar ideas en valor económico. Por ello, el gasto de inversión que éstas realizan es fundamental. En México, el gasto privado en actividades de Investigación y Desarrollo (I + D) es 96 veces menor que el realizado por empresas en Corea del Sur y 78 veces menor que el de empresas estadounidenses.

Y es por eso que la salud y el desarrollo tienen una relación directa. Tanto el desarrollo insuficiente que conduce a la pobreza como el desarrollo inadecuado que redundará en el consumo excesivo, combinados con el crecimiento de la población mundial, pueden

desenvolverse en graves problemas de salud en los países desarrollados y en los países en desarrollo (ONU, 2000).

Sin embargo los servicios de salud se volverán cada vez más interesantes para los emprendedores; el éxito de la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo con registros digitales de salud, con datos de seguimiento de consumidores y con imágenes médicas aumentará la confianza en la producción de aplicaciones innovadoras.

El sector médico tradicional tiene un ansia enorme de dinero. Las poblaciones envejecidas, junto con una crisis de acceso a la sanidad tanto a nivel estatal como de manera privada, harán crecer la necesidad de nuevas e innovadoras soluciones que la salud digital, complementada con inteligencia artificial, podría proporcionar (MIT-TR, 2018).

Lo anteriormente mencionado se puede observar el supuesto de una visión rica de los factores que se involucran en los aspectos más importantes en los problemas y su resolución para México y el mundo en forma de sistemas y subsistemas involucrados, ver Figura 1.5.



Figura 1.5 Visión holística del panorama mundial y local de los problemas actuales (Elaboración propia, 2017)

1.1.3 Contexto físico

La investigación desarrollada requirió de espacios de trabajo diversos, en donde se ha permitido a partir de herramientas, equipos e instrumentación; de tal manera que los lugares donde se realizó el presente trabajo de investigación, fueron; en la ciudad de México, específicamente en el área del posgrado en Ingeniería de Sistemas de la SEPI-ESIME Unidad Zacatenco en el Laboratorio de Sistemas de Ingeniería de igual manera sumando la participación del Departamento de Física en el Laboratorio de Técnicas Fototérmicas del Cinvestav Unidad Zacatenco y el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. La visión y la focalización del contexto se aprecian en la Figura 1.6.



Figura 0.6 Contexto físico de la investigación (Elaboración propia, 2017).

No obstante la rama de estudio que se ha trabajado, tiene diversos sitios alrededor del mundo donde se trabaja en líneas afines, en las llamadas técnicas fototérmicas desde norte américa participando con universidades tan prestigiosas como el MIT o el CalTech pasando por México en los centros mencionados hacia Latinoamérica y con incorporaciones de manera incremental de universidades en china y Japón entre otros países y por supuesto con un gran auge con los centros de investigación y universidades de Europa ubicados sobre todo en España, Bélgica, Alemania, Portugal y Francia, notándolo en el mapa de localización de los más de 50 centros y universidades alrededor del mundo Figura 1.7, Ver lista en anexo,

aplicando técnicas fototérmicas más representativos aunque no limitándose a ellos en los cinco continentes.



Figura 1.7 Mapa de localización de los centros y universidades alrededor del mundo aplicando y desarrollando técnicas fototérmicas

1.1.4 Contexto de la sistémica

En la ciencia de sistemas existieron acontecimientos importantes mediante los aportes de personajes ilustres expuestos cambiando el concepto y aportando ideas innovadoras o revolucionarias que fueron moldeando lo correspondiente a los conceptos, ideas y paradigmas correspondientes al pensamiento sistémico en la Figura 1.8 se muestran algunos personajes sobresalientes a lo largo de la historia que pudieron impactar con sus aportes.

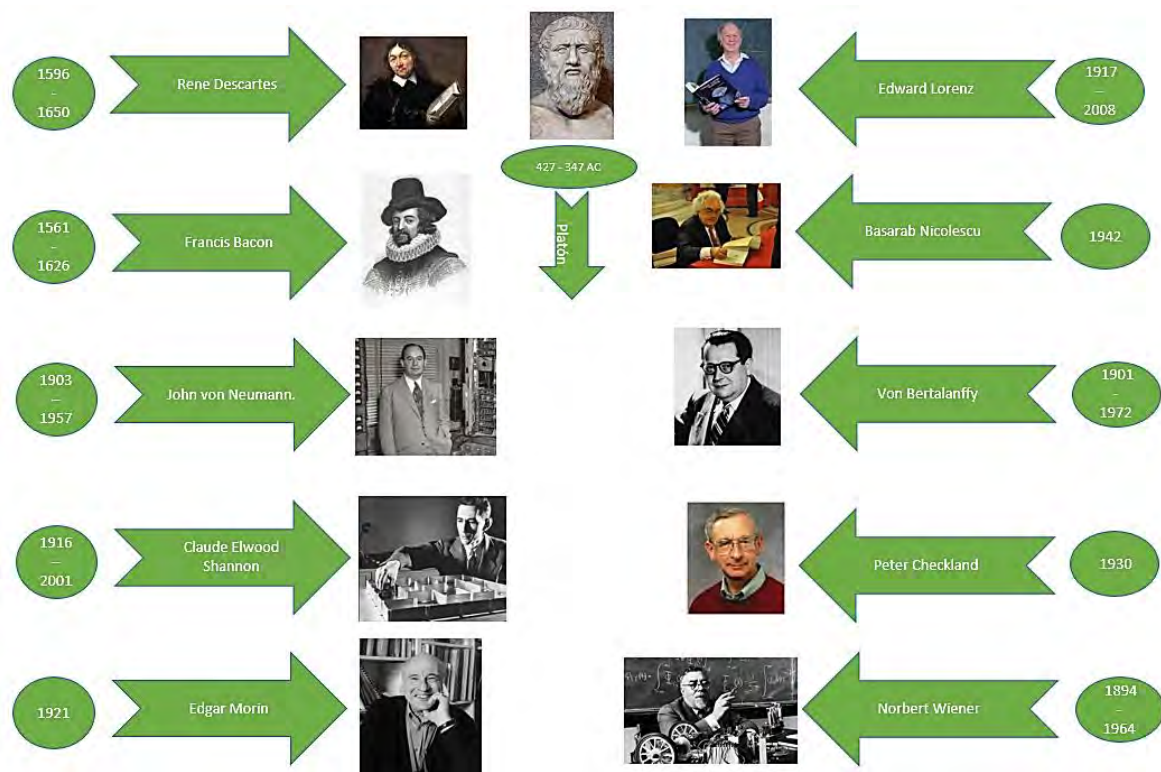


Figura 1.8 Personajes históricos que aportaron en el pensamiento sistémico

Platón (427 AC- 347 AC) Las ideas del filósofo griego supusieron todo un aporte en el mundo de la educación, como también en la política y la ética. Estas tres esferas de la vida humana, encontraron su punto de encuentro en las teorías idealistas de Platón. La realidad que busca el pensamiento científico debe poder expresarse en términos matemáticos, pues las matemáticas son la forma más precisa y definitiva del pensamiento, del cual somos capaces. La significación de esta idea para el desarrollo de la ciencia desde sus comienzos hasta el día de hoy ha sido inmensa. Con, Platón, la habilidad dialéctica es la capacidad de plantear y responder preguntas sobre la esencia de las cosas. El dialéctico reemplaza hipótesis con conocimiento seguro, y su propósito es aterrizar toda la ciencia, todo el conocimiento, sobre algún ‘principio primero no hipotético’.

Francis Bacon (1561-1626), argumentaba que la verdad de las cosas requería de una evidencia del mundo real, donde las personas lo suficientemente hábiles si discutían lo suficiente eventualmente la verdad sería descubierta (BBC, 2016)

Para probar verdades potenciales o hipótesis, Bacon ideó un método mediante el cual los científicos configuran experimentos para manipular la naturaleza e intentan probar que sus hipótesis son erróneas

Rene Descartes (1596-1650), bajo su principio filosófico más famoso que es “cogito, ergo sum” (“pienso, luego existo”), fue un elemento esencial del racionalismo occidental. Exponiendo su método filosófico y científico en el escrito “Reglas para la dirección de la mente” (1628) y en su obra conocida como el “Discurso del método” (1637), donde propone cuatro normas fundamentales que contraponen con la escolástica impartida en las universidades de la época:

- * 1.- no admitir jamás cosa alguna como verdadera sin haber conocido con evidencia que así era.
- * 2.-, dividir cada una de las dificultades que examinare, en tantas partes fuere posible y en cuantas requiriese su mejor solución.
- * 3.- conducir con orden los pensamientos, empezando por los objetos más simples y más fáciles de conocer, para ascender poco a poco, gradualmente, hasta el conocimiento de los más compuestos, e incluso suponiendo un orden entre los que no se preceden naturalmente.
- * 4.-, hacer en todo recuentos tan integrales y unas revisiones tan generales, que llegase a estar seguro de no omitir nada.

John von Neumann. (1903–1957), fue matemático puro y aplicado, físico matemático, economista, ingeniero matemático y meteorólogo, que trabajó en Teoría de conjuntos, formalización axiomática de la Mecánica Cuántica y, en paralelo, sobre la versión abstracta del espacio de Hilbert, teoría de operadores y álgebras de Banach, teoría ergódica y teoría de la medida, juegos de estrategia y economía matemática, autómatas, ordenadores, bomba atómica y bomba de hidrógeno y predicción del tiempo en meteorología; en 1928 publicó su primer trabajo sobre Teoría de Juegos, donde aparece el teorema del minimax, principio del libro “Teoría de Juegos y comportamiento económico”, que fue publicado en 1944 con Morgestern y evolucionó la Economía. La teoría de juegos llamada la "ciencia newtoniana" que subyace a las decisiones económicas. (Maravall, véase López, 2006)

Claude Elwood Shannon (1916–2001), inicio la teoría de la información presentó un teorema para la transmisión de información, un teorema de la entropía para la compresión de datos, y un teorema de equipartición asintótica para la probabilidad de secuencias de un proceso ergódico, separó el medio del mensaje y sentó las bases de todas las comunicaciones digitales. Una de las características más importantes de la teoría de Shannon fue el concepto de entropía, que demostró ser equivalente a una escasez en el contenido de la información en un mensaje. Estableciendo las reglas generales de la teoría de la información moderna, creando las bases matemáticas para una revolución técnica. (Golomb *et al*, 2002)

Edward Lorenz (1917–2008), fue un meteorólogo del MIT que intentó explicar por qué es tan difícil hacer buenas predicciones meteorológicas y terminó desencadenando una revolución científica llamada teoría del caos

A principios de la década de 1960, Lorenz se dio cuenta de que las pequeñas diferencias en un sistema dinámico como la atmósfera, o un modelo de la atmósfera, podían desencadenar resultados vastos y a menudo insospechados. Los primeros descubrimientos de Lorenz marcaron el comienzo de un nuevo campo de estudio que impactó no solo en el campo de las matemáticas sino virtualmente en todas las ramas de la ciencia: biológica, física y social. En meteorología, llevó a la conclusión de que puede ser fundamentalmente imposible predecir el clima más allá de dos o tres semanas con un grado razonable de precisión.

Estas observaciones finalmente lo llevaron a formular lo que se conoció como el efecto mariposa, un término que surgió de un artículo académico que presentó en 1972 titulado: "Previsibilidad: ¿la aleta de las alas de una mariposa en Brasil desencadenó un tornado en Texas?". Lorenz "hizo su logro científico más audaz al descubrir el 'caos determinista', un principio que ha influido profundamente en una amplia gama de ciencias básicas y ha provocado uno de los cambios más dramáticos en la visión de la humanidad desde Sir Isaac Newton"(MIT-News, 2008)

Basarab Nicolescu (1942), físico rumano promotor de la ciencia transdisciplinaria con la Concepción general de la transdisciplinariedad que ha Propuesto, en el Manifiesto de la transdisciplinariedad, de igual manera realizando la fundación del Centro Internacional de

Investigaciones y Estudios Transdisciplinarios (CIRET, París) la elaboración de la Carta de la Transdisciplinariedad, adoptada en el momento del Primer Congreso Mundial de la Transdisciplinariedad. Con el concepto de transdisciplinariedad el prefijo “trans” lo indica, lo que está a la vez entre las disciplinas, a través de las diferentes disciplinas y más allá de toda disciplina. Asumiendo que su finalidad es la comprensión del mundo presente en el cual uno de los imperativos es la unidad del conocimiento, conceptualizando la idea de la unión ciencia, tecnología con el lado ético humano y su parte consiente para acuñar una visión maximizada de la realidad que promueva la transversalidad del conocimiento donde un saber repercute en todo lo demás. (Basarab, 2001)

Von Bertalanffy (1901-1972), biólogo de profesión, acuñó la denominación "Teoría General de Sistemas". Para él, la TGS debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos (Arnold *et al*, 1998). Percibiendo que la ciencia contemporánea requiere de la percepción en su totalidad de fenómenos no descomponibles presentes en interacciones dinámicas que no importa la naturaleza de las cosas pudiendo ser objetos inanimados organismos vivientes o fenómenos sociales, unir las diferentes doctrinas y ciencias en una disciplina científica llamada teoría general de los sistemas, ya que los problemas de los sistemas en la medida que se trate de investigar problemas con interrelaciones y variables de distinta índole es necesario centrarse en las totalidades y la síntesis, siendo esencialmente los problemas de las limitaciones de los procedimientos analíticos en la ciencia el problema de los sistemas considerando aspectos de carácter social, ambiental y humano. (Von Bertalanffy, 1968)

Peter Checkland (1930), promotor de la metodología de sistemas blandos o suaves (MSB): una metodología basada en la teoría de sistemas. Propone una metodología la cual fue su mayor aportación al mundo administrativo, a la cual le llamó Metodología de Sistemas Blandos. El objeto central de esta metodología es el estructurar el pensamiento para intervenir de manera puntual en problemas complejos de las organizaciones; es decir proyectar una acción organizada para manejar los problemas. La Metodología de Sistemas Suaves es un conjunto de metodologías, donde cada una de ellas está compuesta por un

conjunto de ideas o conceptos, estructurados de una manera apropiada conforme a una situación que esté siendo analizada (Checkland, 1981).

Norbert Wiener (1894-1964), es considerado como el padre de la cibernética, las primeras investigaciones de Wiener en el campo de la fisiología acompañadas por el científico mexicano Arturo Rosenblueth, toman un carácter distintivo a partir de septiembre de 1939, es decir, al comienzo de la Segunda Guerra Mundial. Ya como profesor de matemáticas en MIT, Wiener se encuentra trabajando, donde en forma conjunta con Vannevar Bush diseñan un sistema de control de artillería, un sistema de fuego antiaéreo, en los cuales toma carácter central el concepto de retroalimentación (feedback). Wiener describe su investigación en el MIT y es cómo estableció las bases para el campo multidisciplinario de la cibernética y la teoría de los sistemas de retroalimentación. Según Wiener la Cibernética representa un paradigma científico capaz de explicar los conceptos básicos de las ciencias materiales, como una estructura de conocimiento lógico-formal, cuyo axioma central entiende que todo fenómeno es consecuencia de procesos de comunicación, que alcanza a todos los elementos y variables que lo componen a nivel de sistema y por herencia a sus subsistemas.

Edgar Morín (1921), a lo largo de toda su obra ha abordado la comprensión del “individuo sociológico” a través de lo que él llama una “investigación multidimensional”, a partir del empleo de diversas ciencias, especialmente la sociología y la observación comprensiva. Morín se ha mostrado crítico de los medios masivos y se ha mostrado muy interesado en comprender estos fenómenos de propagación de la opinión; de la misma manera cree que es necesario transgredir la formación disciplinaria tradicional para concebir y confrontar los problemas complejos de una manera integral, pluridisciplinaria, interdisciplinaria o transdisciplinaria. Menciona que la intención es sembrar metodologías y reflexiones que permitan navegar en la dualidad del cambio acelerado y los fragmentos de certidumbre que ofrece la realidad actual.

1.1.5 Contexto de la caracterización de materiales

La caracterización de materiales se basa en la obtención de información mediante la respuesta de un material en algún estado, a partir de alguna forma de señal de respuesta, de tal manera

que se hace indispensable para conocer y predecir las propiedades de algún material y poder así identificar su utilidad y satisfacer problemáticas.

Para recuperar la información deseada del objeto de estudio o analito, es necesario proporcionar un estímulo, el cual está casi siempre en la forma de energía electromagnética, eléctrica, mecánica o nuclear, donde un instrumento para análisis químico convierte la información acerca de las características físicas o químicas de un analito en datos que puede manipular e interpretar el ser humano para así ser caracterizado. El estímulo extrae una respuesta del sistema en estudio cuya naturaleza y magnitud están regidas por las leyes fundamentales de la química y la física. Y relacionadas con el tipo de caracterización que se desee desarrollar (Skoong *et al.*, 2007).

Una de las caracterizaciones que se ha realizado desde hace mucho tiempo es buscar las propiedades mecánicas de los materiales (H. Kolsky, 1949) en donde se puede determinar algunas de las más importantes como la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez. Actualmente se realizan estudios de las propiedades de los materiales por diversas técnicas modernas tales como el microscopio electrónico de barrido (H. Attar *et. al.* 2015) o SEM (scanning electron microscope) por sus siglas en inglés, la termografía de rayos X (X-ray tomography) (S. S. Singh *et. al.* 2014)

Adicional a ello, diversos trabajos se han realizado referente a la investigación y desarrollo en el contexto del análisis de material biológico en materia de compuestos orgánicos a nivel mundial tanto para su generación como en su implementación y demás implicaciones y características importantes. Varios métodos de análisis espectroscópicos han sido utilizados en la investigación para la evaluación de material de origen natural. Sin embargo, los métodos basados en propiedades térmicas son limitados, y parece que este puede ser un área de estudio y desarrollo.

Sin embargo, ningún método puede satisfacer simultáneamente los criterios de determinación de todos los trazados de propiedades con una mínima inversión de tiempo, costo y mano de obra. A pesar de ello existen métodos rápidos y fáciles de usar que puede ser y han sido implementados en el estudio de materiales biológicos, tales como NIR que puede ser utilizado para la rutina análisis, mientras que la espectroscopia de RMN, espectroscopia de masas y resonancia magnética, son las técnicas más avanzadas que son estudiadas de manera

general las propiedades físicas y químicas usadas en los métodos mencionados con anterioridad se puede describir en la siguiente tabla 1.1.

Propiedades características	Métodos instrumentales
Emisión de radiación	Espectroscopia de emisión (rayos X, UV, luz visible, de electrones, de Auger); fluorescencia, fosforescencia y luminiscencia (rayos X, UV y luz visible)
Absorción de radiación	Espectrofotometría y fotometría (rayos X, UV, luz visible, IR); espectroscopia fotoacústica; resonancia magnética nuclear y espectroscopia de resonancia de espín electrónico
Dispersión de radiación	Turbidimetría; nefelometría; espectroscopia Raman
Refracción de radiación	Refractrometría; interferometría
Difracción de radiación	Métodos de rayos X y difracción electrónica
Rotación de radiación	Polarimetría; dispersión óptica rotatoria; dicroísmo circular
Potencial eléctrico	Potenciometría; cronopotenciometría
Carga eléctrica	Coulombimetría
Corriente eléctrica	Amperometría; polarografía
Resistencia eléctrica	Conductometría
Masa	Gravimetría (microbalanza de cristal de cuarzo)
Razón masa/carga	Espectrometría de masas
Velocidad de reacción	Métodos cinéticos
Características térmicas	Gravimetría térmica y titulometría; calorimetría de barrido diferencial; análisis térmicos diferenciales; métodos conductimétricos térmicos
Radiactividad	Métodos de activación y de dilución de isótopos

Tabla 1.1. Comparativa de metodo intrumental vs propiedad a analizar (Skoong *et al*, 2007).

Algunos de los métodos instrumentales y técnicas mencionadas con anterioridad se pueden implementar por los dispositivos e instrumentaciones físicas como las mostradas en la Figura 1.9. De las cuales se encuentran en centros especializados como el Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías del IPN, en donde en ciertos casos las instalaciones deben que contar con medidas y características muy específicas que impiden poderse utilizar fuera de centros especializados de investigación



Figura 1.9. Dispositivos e instrumentaciones utilizadas en métodos instrumentales (CNMN-IPN; 2016)

No obstante la utilización de técnicas no convencionales como las fototérmicas que han sido y pueden ser empleadas en los análisis de este tipo de materia biológico podrían aplicarse al estudio de la salud, las técnicas avanzadas como el uso de equipos espectroscópicos podrían aplicarse en estos estudios de análisis

Una de la ventajas en la implementación de técnicas fototermicas es que se puede utilizar instrumentación alternativa para la implementación de estas técnicas, como es el caso de la implementación de la técnica fotoacústica con costos accesibles, portabilidad y fiabilidad (Rabasovic et al, 2009).

Diversos trabajos se han realizado referente a la investigación y desarrollo en el contexto del análisis de material biológico en materia de compuestos orgánicos a nivel mundial tanto para su generación como en su implementación y demás implicaciones y características importantes

Como se muestra en la Tabla 1.2, se mencionan algunos estudios hechos a biocombustibles que como propiedad general podrían compartir ciertas características con el material de estudio que se propone como el que ambos son de origen biológico son materiales en estado líquido y que conllevan complejidad estructural involucrada en su estudio.

Tabla 1.2 Revisión de literatura de utilización de técnicas fototérmicas FA y FPE para obtención de propiedades térmicas con respecto al tipo de celda empleada

Documento	Autores	Propuesta	Método FA	Estudio	Resultados
Thermal effusivity measurement of virgin coconut oil-metanol mixtures using photoacoustic technique	Firas kamel mohamad Al-asfoor et al, 2008.	Láser He- Ne modelo (LHR) Celda fotoacústica Chopper mecánico Amplificador lock-in SR- 530 Luz modulada a 632.8 nm a 30 mW Lamina de aluminio de 0.067 mm de espesor Configuración de celda abierta irradiando la muestra a través de la fuente incidiendo la luz sobre el líquido para posteriormente incidir sobre una lámina de aluminio montada sobre una celda FA contenida de aire	Celda FA abierta en modo de trasmisión	Medición de la amplitud de señal fotoacústica efusividad y difusividad térmica respecto a etanol metanol y glicerol contenidas en mezcla de aceite de coco	Variaciones en la amplitud de la señal FA para la determinación de la efusividad y difusividad térmica respecto al porcentaje de metanol contenido en mezclas con aceite de coco y aceite solo

Novel transmission open photoacoustic cell configuration for thermal diffusivity measurement in liquids	J.A. Balderas - López & A Mandelis, 2001	Diodo Laser de 830 nm a 60 mW Frecuencia de modulación 2 Hz Amplificador lock-in SR-830 Lamina de aluminio de 120 μ m Utilización de la técnica FA en configuración por transmisión y medición de manera indirecta por medio de material conocido de aluminio	Celda FA abierta	Medición de la amplitud y fase para la obtención de difusividad térmica en líquidos	Análisis de tres muestras líquidas: agua etileno y aceite de oliva correspondiendo a la determinaciones de las difusividades térmicas con respecto a las reportadas en la literatura con técnicas convencionales
Measurements of thermal effusivity of liquids using a conventional photoacoustic cell	J.A. Balderas - López <i>et al</i> , 1999	Laser a 543 nm a 200 mW marca Omnichrome Chopper mecánico ALI SR - 850 Lamina de silicio de 85 μ m	Configuración en celda abierta en modo de transmisión	Aplicación en la medición de efusividad térmica en varios líquidos	Se encontraron mediciones semejantes respecto a la literatura con respecto a las obtenidas mediante esta técnica de igual forma al variar la concentración existe correspondencia con los valores obtenidos como es el caso de muestras en concentraciones de acetona de distintos porcentajes de concentración
Rapid estimation of sugar release from Winter wheat Straw during bioethanol production using FTIR- PA	Georgios Benkiaris <i>et al</i> , 2015	FTIR PAS Nicolet 6700 marca ThermoScientific, USA. Software CAMO, Oslo, Norway	Detector Fotoacustico PA-301 marca Gasera ltd, Finlandia.	Espectroscopia en el rango infrarrojo para la caracterización de biomasa para la producción de bioetanol	Medición y predicción de azúcar y glucosa mediante el análisis de los picos de absorción correspondientes a las moléculas presentes en la muestra correspondientes a las bandas de absorción, realizando un análisis de regresión para la predicción de las comparaciones presentes
Characterization of biodiesel by unconventional methods: photothermal techniques	María castro <i>et al</i> , 2011 ^a	Laser de argón a 514 nm a 80 mW Lamina de cerámica de (plomo-titanio-zirconato) de 210 μ m de espesor ALI SR -830 Obtención de la amplitud en función del tiempo	celda abierta en modo de transmisión	Utilización de técnica fotopiroeléctrica en configuración directa	Se analizó la amplitud respecto a la frecuencia en modulaciones de 0.1 a 2 Hz normalizando para obtener y ensamblar la técnica en configuración inversa y determinar la conductividad térmica de distintos tipos de biodiesel
thermal properties measurements in biodiesel oils using photothermal techniques	María castro <i>et al</i> , 2005b	Laser de argón marca spectra- physics a 454.5 nm y laser He- Ne a 632.8 nm Variación de potencia de 0.2 a 17 mW Modulador chopper EG & G instruments Lamina de aluminio con efusividad conocida Amplificador lock- in PAR 5210	Celda con contenedor curvo de cuarzo	Para la obtención de medidas de efusividad fue empleada una celda FA en configuración abierta midiendo la impedancia térmica de la muestra como habilidad para intercambiar calor con el ambiente	Medición de difusividad y efusividad térmica en el rango de UV- vis para biodiesel en muestras de girasol -etanol, nabo-etanol, aceite de castor etanol, aceite de castor - metanol, soya- etanol, soya metanol
Photothermal characterization of natural gas automotive fuel	Israel A Esquef <i>et al</i> , 2006	Hoja de aluminio de 15 μ m de grosor y 12 mm de diámetro como sensor Fuente laser Mitsubishi ML101J8 a 665 nm a 30 mW modulado a 10 Hz	celda abierta en modo de transmisión	El núcleo principal de este método es el análisis de temperatura en una celda de vidrio cerrada en la cual la muestra (Lamina de aluminio) es irradiado por la luz láser generando ondas térmicas que se propagan en la muestra a estudiar para finalmente ser captadas por un sensor piroeléctrico	Medición de difusividad térmica en gas combustible como función de la concentración y del tiempo de sueltas en mezclas de gas con N ₂

Photothermal gas analyser for simultaneous measurements of thermal diffusivity and thermal effusivity	Israel A Esquef <i>et al</i> , 2006	Celda cilíndrica de vidrio lock in optoelectronics lab. OL-4000 hoja de aluminio de 15 Hoja y 12 mm de diámetro como sensor Fuente laser Mitsubishi ML101J8 a 663 nm a 40 mW modulado a 10 Hz	celda fotoacustica abierta	Se desarrolló una celda FA dentro de un Photothermal Gas Analyzer. haciendo circular a través de una cavidad los gases a analizar para que pueda ser censado por dos medios distintos incidiendo la luz modulada dentro de la celda FA en configuración abierta incidiendo la luz sobre una pared de aluminio como fuente de absorción	Análisis de concentraciones de gas CO ₂ y CH ₄ en disolución de aire para determinación de efusividad y difusividad térmica en mezclas mixtas
Investigating thermal properties of biodiesel / diésel mixtures using photoacoustic technique	A.O. Guimaraes <i>et al</i> 2012	Lamina de polidivinitileno difluoruro, con grosor de 110 µm como sensor Laser de argón de 514 nm a 120 mW Modulador chopper a 3 Hz Lamina cerámica de PTZ con grosor de 210 µm Diodo láser a 15 mW	Configuración photopyroelectric technique front	El grosor de las muestras fue incrementándose igualmente variando la frecuencia de modulación respecto a diferentes líquidos agua destilada, etil-glicol, etanol, biodiesel y diésel Para determinar sus propiedades térmicas	Se describe en el caso del el biodiesel un incremento de la difusividad térmica respecto a la concentración del mismo en contraposición del etil glicol y el etanol , determinándose no siempre es predecible predecir el comportamiento de las propiedades térmicas en mezclas de diferentes componentes
Viscosity and thermal conductivity of soybean oil-diesel blends between 293 and 353 K	Isabel Janke <i>et al</i> , 2013	Aceite de soya en mezclas con diésel Medidor de conductividad térmica Decagon KD2 pro-model	Cilindro de nylon como celda de medición	El principio fundamental es la transmisión de calor por un medio (hilo) conductor en un medio homogéneo la temperatura responde en función del tiempo después de un pulso de calor incidido sobre la muestra	Se muestra que la conductividad térmica en diferentes concentraciones de aceite etanol de 0 a 100% varía respecto a la temperatura de incidencia y la concentración hasta llegar a comportamientos semejante a temperaturas más altas y mezclas pequeñas de aceite 25 %
Thermal diffusivity as an automotive fuel characterization parameter: correlation with motor octane number	Luiz C. miranda <i>et al</i> , 2001	Laser de argón omnichrome 543- MAP a 514 nm modulado a 10 Hz por medio de chooper Lamina de vinileno difluoruro con espesor de 25 µm como sensor Lock -in EG & G modelo 5210	Celda cerrada en configuración para técnica fotopiroelectrica	El láser ilumina la lámina se genera una absorción de luz generando fluctuaciones de temperaturas que son transmitidas a través de los gases generados por las muestras propagando las ondas térmicas para que incidan sobre el sensor piro eléctrico	Discriminación de dos tipos de combustibles por medio de la medición de las difusividades térmicas correspondiendo a mezcla de aire/ exano en correspondencia con la amplitud de la difusividad térmica, se sugiere que la difusividad térmica puede indicar de manera suficiente a través del número de octano una caracterización de parámetros para combustibles automotrices
Photothermal detection of adulterants in automotive fuels	J.A.P Lima <i>et al</i> , 2004	LED 30 mW a 665 nm modulado a 10 HZ Lamina de aluminio pintada de negro de 15 µm Amplificador lock-in modelo 5210 EG&G Y computadora Sensor piroeléctrico	Celda fotopiroelectrica cerrada con circulación de vapores y contenedor de muestra líquida	Medida de la evolución del vapor de gasolina contenida en una celda en base a la saturación de la señal en amplitud	Desde el punto de vista de calidad la señal decayó como función del tiempo reflejando los cambios en la difusividad térmica con el tiempo y los cambios en la concentración de hidrocarburo con el aire
Analysis of biodiesel and frying vegetable oils by means of FTIR photoacoustic spectroscopy	S.M. Lima <i>et al</i> , 2008	Espectrómetro thermo-Nicolet Nexus 670. Nitrógeno gaseosos Elio Omic software	Detector fotoacustico (MTEC-300)	Utilización de la técnica FTIR para determinar los modos vibracionales del biodiesel y aceites vegetales	Por medio de la utilización de la técnica implementada se pueden monitorear los cambios espectrales inducidos en los aceites vegetales debido a los efectos de degradación

Técnica fotoacústica en mezclas binarias de líquidos. reconstrucción de la señal y propiedades Termodinámicas en exceso.	P.A. Pardini <i>et al</i> 2014	Osciloscopio digital Laser Nd:YAG a 1064 nm modulado a 10ns a 10 pulsos por segundo Sensor PTZ (piezo eléctrico ultrasónico) de 4 mm cuadrado	Celda en configuración directa	Uso de la técnica FA para estudiar la señal generada por láser en soluciones líquidas de etanol, metanol, acetona y agua destilada en diferentes proporciones	Analizando los máximos de las señales foto acústicas se observa las propiedades térmicas presentes en las mezclas acuosas de etanol y metanol
CO ₂ laser photoacoustic detection of ethylene emitted by diésel engines used in urban public trnasports	C.G. Teodoro <i>et al</i> , 2009	Bomba mecánica Modulador chooper a 1 khz y 3khzaser de CO ₂ modelo lasertech group inc, LTG150 625G a 1.9 w de 9.2 a 10.6 µm fluxometro	Celda resonante con entrada y salida de gases	Monitorización de la concentración de etileno emitido por transporte de diésel	detectaron etileno en concentraciones de 10ppbv siendo una técnica con alta sensibilidad para detectar etileno en el rango de Partes por billón

Así mismo la técnica fotoacustica se puede implementar en diversos rangos de longitud de onda ya sea en el ultravioleta (UV) a la región de longitud de onda del infrarrojo (Lassen et al, 2014).

Dentro de las bondades de la técnica fotoacústica se encuentra que se ha utilizado para la caracterización térmica de líquidos como el agua, aceite y anticongelante, reportándose valores semejantes a los encontrados por otros métodos y técnicas en el estudio de líquidos (López & Mandelis, 2002).

Al utilizar fuentes y materiales no convencionales en el empleo de las técnicas fototérmicas como es el caso del uso de distintas fuentes de luz se pueden generar instrumentos capaces de otorgar mediciones en materiales a un menor costo (Santiago et al, 2005; Mitchell et al, 2008)

De manera general muchas técnicas diferentes de espectroscopia, tales como UV / vis, absorción, espectroscopia de IR, fluorescencia y Espectroscopia Raman se aplican habitualmente en química. Aunque no así para la aplicación de las técnicas o métodos fotoacústicos (PA) y optotérmicos (OT) que son menos comunes y sólo una limitada número de instrumentos alcanzó un nivel de aplicación más allá de prototipos en la investigación laboratorios. El principio subyacente de todas estas técnicas es la detección de un calentamiento local debido a la conversión de la luz en calor por absorción óptica. Teniendo en cuenta la versatilidad, robustez y simplicidad instrumental de muchas técnicas de PA, sin embargo el número de instrumentos comerciales basadas en estos enfoques es limitado.

(Haisch, 2011), y que a pesar de que cada molécula presenta un espectro FA único, como si fuese una huella dactilar, pudiendo otorgar datos característicos para la materia de estudio.

Al igual existe otra técnica como la denominada fotopiroeléctrica El (PPE) se introdujo en los años ochenta (1984), como una herramienta para la medición de las propiedades térmicas de los materiales. Aunque esta técnica es también muy eficaz para sistemas de líquidos y pastosos, además de que se puede aplicar para muestras sólidas, donde los experimentos con materiales biológicos como es el biodiesel presentan una buena reproducibilidad, con las incertidumbres de menos de 5% y las configuraciones son relativamente simple para la obtención de propiedades térmicas (Montero & Stoytcheva, 2011).

En el ámbito del análisis biológico refiriéndose a líquido procedente de seres vivos humanos, de la saliva se han hecho estudios como el desarrollo del análisis bioquímico de la misma con el fin de desarrollar una prueba rápida no invasiva para la detección de infarto agudo al miocardio de este estudio se obtuvo que hay diferencias significativas entre saliva normal y otros con infarto determinándose a través de las diferencias entre bandas del espectro Raman (Chao *et al*, 2015). Otro estudio enfocado al uso de la saliva como medio de obtención de información fue el hecho por medio de la utilización de la FTIR para componentes proteínicos salivales presentes en personas con psoriasis, diabetes y un grupo control, de lo cual se encontró diferencias existentes en la composición de las estructuras secundarias de las proteínas presentes en la muestras de saliva marcando diferencias en los espectros presentes en cada una (Bottoni *et al*, 2014)

Se manera semejante el estudio de la saliva por espectroscopia Raman fue en el estudio de medicamentos de quimio-terapia para tratamientos y encontrar estudios farmacéuticos de las proporciones de sensibilidad en la reacciones del mismo a través del cambio de enzimas y proteínas presentes en la saliva (Dana *et al* , 2005), una aplicación del uso de la saliva entre agentes sanos o no, fue su uso en la detección de drogas presentes como la metanfetamina esto fue mediante los gradientes de concentración a partir de productos químicos conocidos introduciendo señales distintivas en un espectro de Raman (andreu *et al*, 2013).

1.2 Fundamento de la técnica Fotoacústica

La espectroscopia con fundamento en el fenómeno fotoacústico descubierto por Alexander G. Bell hace más de un siglo (Bell, 1880) fue el inicio del estudio de las técnicas fototérmicas, que se basan en la incidencia de energía luminosa de forma modulada sobre una muestra de estudio, esta energía es absorbida y parcialmente es convertida en calor, este calor es generado en forma de flujo periódico a partir de la muestra que origina una onda térmica que se propaga y en el caso de la técnica fotoacústica (FA) se convierte en ondas de presión generando sonido (Rosencwaig y Gersho, 1976). En la Figura 1.10, se pueden apreciar estos fenómenos de manera ilustrativa.

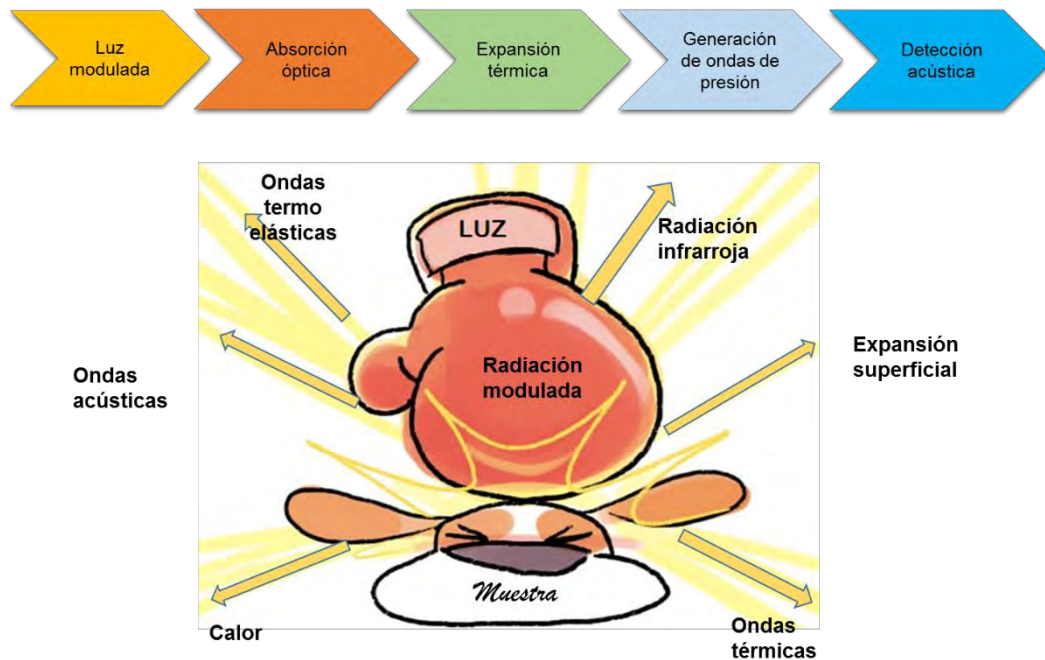
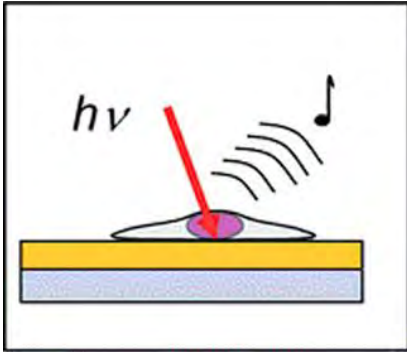


Figura 1.10 Esquema de algunos fenómenos fototérmicos (Elaboración propia, 2016; Adaptada de Domínguez, 2010)

En décadas recientes ha tenido auge como método de caracterización en el estudio de propiedades térmicas y ópticas para la aplicación de estudios en diferentes ciencias, como en análisis estructurales de muestras solidas (Wong *et al.*, 1978), aplicaciones biofísicas



diversas: Castro *et al.*, 2005; Al-asfoor *et al.*, 2008; Zeng *et al.*, 2009; Dominguez *et al.*, 2012; Mejía *et al.*, 2012; Gordillo *et al.*, 2012; Szabo *et al.*, 2013; Barrientos *et al.*, 2015.

De igual manera la implementación de la técnica FA se ha realizado en el análisis de gases. (Rocha *et al.*, 2012) etileno, midiendo su concentración en la combustión de combustibles; (Bonno *et al.*, 2005; Schramm *et al.*, 2003), CO₂ en mezclas mixtas con aire o con mezclas con otros gases.

Por otra parte se concretaron estudios de propiedades térmicas con líquidos como los aceites o mezclas de combustibles (Balderas *et al.*, 1999; Balderas y Mandelis, 2002; Pardini *et al.*, 2014); al igual se ha detectado la actividad de elementos químicos en múltiples sistemas físicos o biológicos, esto se pudo lograr empleando el fenómeno fotoacústico que permite transformar la luz en sonido (Marín, 2008).



Y es que mediante el uso de sistemas de cómputo personales y la instrumentación virtual se han reportado implementaciones técnicas con componentes distintos a los usados de manera convencional, como es el caso de Starecki (1993) en la aplicación de la técnica FA y el uso de la adquisición de señales por computadora personal (PC), así mismo la utilización del procesamiento digital de señales (PDS) y adquisición de audio por PC como en el caso de Santiago *et al.* (2003) la utilizaron para la captura y adquisición de la señal FA para determinar concentraciones de NO₂ siendo la fuente de luz un láser de Argón.

González *et al.* (2007) diseñaron un sistema de emulación lock-in por la adquisición de audio de una PC. Así mismo Mitchell *et al.* (2008) implementaron otro sistema de sustitución para lock-in con una computadora personal para la adquisición de la señal en combinación con

una fuente de luz láser de CO₂, aplicada para caracterización de gas etileno. Empleando otro tipo de fuente de luz, Rabasovic *et al.* (2009), Santiago *et al.* (2006), Scholz *et al.* (2015), también usaron la técnica fotoacústica implementando luz emitida por LEDs en el estudio de gases.

En aporte a estos importantes usos, empleos y desarrollos se tiene de una instrumentación alternativa como trabajo antecesor en empleo de la técnica fotoacústica en un dispositivo portátil, la cual será utilizada como base de la investigación a desarrollar en este trabajo de investigación propuesto.

1.2.1 Diodo Emisor de Luz



El LED es un vínculo estrecho entre la electrónica y la fotónica: estos semiconductores se emplean en diversas aplicaciones en el hogar o industria. A partir de la demostración del primer láser de rubí. Que fue en 1962 cuando cuatro grupos de investigación en los E.U. reportaron simultáneamente el funcionamiento del láser de semiconductor basado en LED, a base de cristales de arseniuro de galio. Los involucrados fueron Robert Hall y Nick

Holonyak de dos diferentes laboratorios de General Electric, Marshall Nathan de IBM y Robert Rediker, del MIT.

Sin embargo en la década de 1920 Oleg Vladimirovich Losev observó la luz que provenía de la emisión de óxido de zinc y carburo de silicio de diodos rectificadores de cristal usados en los receptores de radio cuando la corriente era pasado por ellas, publicando en 1927 el paper de emisión de luz de diodos de carburo de silicio, siendo el primer dispositivo semiconductor emisor de luz reportado (Zhenludev, 2007). En una etapa previa Henry Joseph Round fue quien descubrió la electroluminiscencia principio por el cual funcionan los dispositivos LED, (Schubert, 2003)

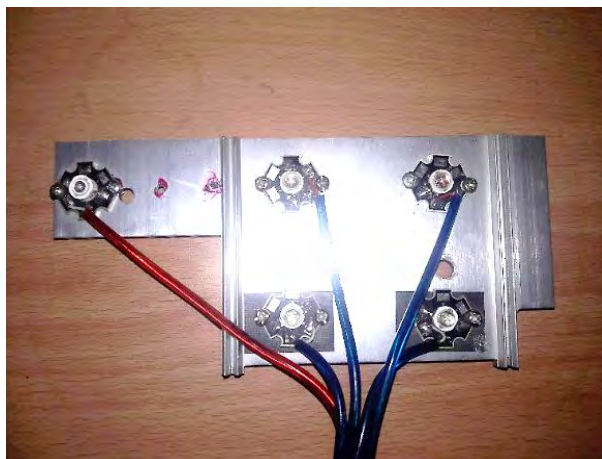


Figura 1.11. Dispositivos LED de alta intensidad

La longitud de onda de la luz emitida, y por tanto el color de emisión de los LED depende de la energía de banda prohibida de los materiales que forman la unión PN. En los diodos de silicio o de germanio, los electrones y los huecos se recombinan por una transición no radiactiva, que no produce emisión óptica, porque estos son los materiales de banda prohibida indirecta. Mientras que los materiales utilizados para el LED tienen una banda prohibida directa con las energías correspondientes a luz infrarroja, visible o ultravioleta.

Esta tecnología es aplicada en el desarrollo de la presente investigación incluida en el sistema de medición presentado como fuente de radiación para el sistema fotoacústico Figura 1.11 en el cual se utilizan LED de potencia de alta intensidad en diferentes longitudes de onda.

1.3 Justificación

En las últimas décadas, junto con grandes avances científicos y de carácter tecnológico en las áreas como la biomedicina, esto ha impactado en la mejora de la salud de la humanidad, pese a eso en el siglo XXI hay resultados desalentadores que contrastan esto, ya que existen muchos problemas de salud que no han sido resueltos,

El acceso a tecnologías, sobre todo en países y poblaciones de ingresos bajos o con accesos limitados a los medios de prevención y tratamiento quedan dentro de los principales (OMS, 2011)

Y es que el conocimiento aplicable, es el factor principal de desarrollo de un país y de la producción de su economía, ya que “el trabajo que las personas puedan agregar a la economía



mundial por medio de los conocimientos y habilidades propias da la competitividad que pueden ofrecer; la forma de alcanzar el desarrollo y el poder económico en el siglo XXI no es mediante la explotación de materias primas y el trabajo manual de las personas sino mediante la aplicación de los recursos intelectuales en concordancia con los avances científicos y tecnológicos de cada nación” (Rincón, 2012).

Las técnicas no convencionales para el estudio de la materia como las técnicas fototermicas son usadas en distintos campos de la ciencia, y han revolucionado el campo de la biológica, ambiental y agrícola, en general de la ciencia de materiales. Siendo como en el caso de la Espectroscopia Fotoacústica (EFA) que es una técnica costeable, sensible y no destructiva que permite la determinación de las propiedades físicas de las muestras a analizar, aplicable en la medicina, ya que la interpretación de las propiedades por la que está constituida la materia representa la forma en que se pueden entender y por la cual se pueden estudiar el comportamiento de los diferentes fenómenos presentes en la misma, bajo condiciones naturales o aisladas aplicadas todo esto aplicado al fenómeno de la salud y la calidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Colaborar con una visión sistémica en la caracterización de biomateriales mediante sistemas tecnológicos alternativos portátiles, para promover su evaluación con técnicas f de estudio.

1.4.2 Objetivos particulares

- I. Analizar y diagnosticar el problema
- II. Definir el marco contextual para el desarrollo del proceso de investigación a partir de una visión sistémica.
- III. Demostrar que un sistema fototérmico portátil permite llevar a cabo la caracterización de biomaterial.
- IV. Obtención de características particulares de los materiales analizados en relación a los parámetros térmicos y ópticos de las muestras.
- V. Emplear técnicas de manufactura alternativa.

VI. Contribuir en el desarrollo tecnológico del país.

1.4.3 Hipótesis

- a. El empleo de la técnica fotoacústica con equipo portátil no convencional puede ser adecuada para caracterizar biomaterial.
- b. Las diferencias en el espectro de absorción entre el biomaterial utilizado, podrían ser detectadas mediante la técnica fotoacústica con equipo alternativo portátil
- c. Se pueden obtener versatilidad en diseño, manufactura y mejora en la generación de dispositivos, empleando técnicas modernas de manufactura.

Tabla 1.3 Tabla de congruencia (Elaboración propia, 2017)

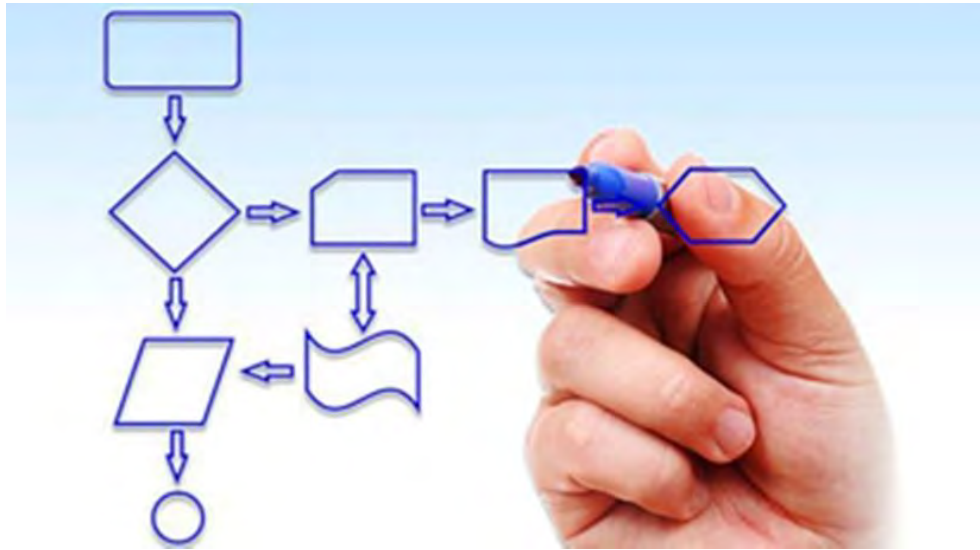
Problema de Investigación	
Faltan desarrollos tecnológicos e investigación alternativos que permita contribuir en la solución de los problemas de desarrollo en México	
Justificación	
El desarrollo tecnológico del país es necesario e imprescindible; de tal manera con esta investigación nos sumamos a distintos grupos de investigación en el mundo que plantean la portabilidad de la técnicas fototérmicas, debido a que pueden tener diversas aplicaciones en distintas áreas científicas, por lo que se tiene relevancia en un país en vías de desarrollo como México.	
Objetivo General	
Colaborar con una visión sistémica en la caracterización de Biomateriales mediante sistemas tecnológicos alternativos portátiles.	
Objetivo particular 1 Analizar y diagnosticar el problema	Objetivo particular 2 Definir el marco contextual para el desarrollo del proceso de investigación a partir de una visión sistémica.
Objetivo particular 3 Demostrar que un sistema fototérmico portátil permite llevar a cabo la caracterización de biomaterial.	Objetivo particular 4 Obtención de características particulares de los materiales analizados en relación a los parámetros térmicos y ópticos de las muestras.
Objetivo particular 5 Emplear técnicas de manufactura alternativa.	Objetivo particular 6 Contribuir en el desarrollo tecnológico del país

Hipótesis

- a. El empleo de la técnica fotoacústica con equipo portátil no convencional puede ser adecuada para caracterizar biomaterial.
- b. Las diferencias en el espectro de absorción entre el biomaterial utilizado, podrían ser detectadas mediante la técnica fotoacústica con equipo alternativo portátil
- c. Se pueden obtener versatilidad en diseño, manufactura y mejora en la generación de dispositivos, empleando técnicas modernas de manufactura.

Características de la Investigación

El desarrollo de la investigación se basa en una perspectiva sistémica transdisciplinaria por medio de una investigación de campo, la investigación documental e investigación experimental



CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Pensamiento sistémico

El enfoque de sistemas puede ser posiblemente “la única forma en la que podemos volver a unir las piezas de nuestro mundo fragmentado: la única manera en que podemos crear coherencia del caos” (Gigch, 2001).

El pensamiento sistémico aparece de manera más consolidada a partir de los cuestionamientos del biólogo Ludwing Von Bertalanffy biólogo, quien debatió la aplicación del método científico debido a la visión causal y mecanicista que no permitía la solides para la explicación de los grandes problemas que se dan en los seres vivos.

Esta indagación lo llevó a plantear el paradigma de pensamiento global para poder entender mejor el medioambiente que nos rodea, de esta manera surgiendo formalmente el paradigma de sistemas; donde un sistema es una reunión o conjunto de elementos relacionados, cuyos elementos pueden ser conceptos u objetos o sujetos o la combinación de los anteriores, es decir un sistema es un agregado de entidades, en la mayor parte de los casos podemos pensar en sistemas más grandes o superiores, o sistemas que componen o forman parte de otro llamados subsistemas. (Gigch, 2001)

Respecto de la transdisciplinariedad; la estructura discontinua de los niveles de Realidad determina la estructura discontinua del espacio transdisciplinario, la cual, a su vez, explica por qué la investigación transdisciplinaria es radicalmente distinta de la investigación disciplinaria, todo siéndole en sí complementario, la investigación disciplinaria concierne, cuando mucho, un solo y mismo nivel de realidad; es más, en la mayoría de los casos, no concierne sino fragmentos de un solo y mismo nivel de realidad, en cambio, la transdisciplinariedad se interesa por la dinámica engendrada por la acción de varios niveles de realidad a la vez el descubrimiento de esta dinámica pasa necesariamente por el conocimiento disciplinario; la transdisciplinariedad, no siendo nada más una nueva disciplina o una nueva hiperdisciplina, se nutre de la investigación disciplinaria, la cual a su vez, se esclarece de una manera nueva y fecunda por el conocimiento transdisciplinario; en este sentido, las investigaciones disciplinarias y transdisciplinarias no son antagónicas sino complementarias. Los tres pilares de la transdisciplinariedad los niveles de Realidad, la

lógica del tercero incluido y la complejidad determinan la metodología de la investigación transdisciplinaria (Basarab, 1988).

2.1.1.1 Enfoque de sistemas

El enfoque de sistemas tiene diversos aspectos y puede describirse como:

- Una metodología de diseño
- Un marco de trabajo conceptual común
- Una nueva clase de método científico
- Una teoría de organizaciones
- Dirección por sistemas
- Un método relacionado a la ingeniería de sistemas, investigación de operaciones, eficiencia de costos, etc.
- Teoría general de sistemas aplicada

El pensamiento sistémico es la quinta disciplina. Es la disciplina que integra las demás disciplinas, fusionándolas en un cuerpo coherente de teoría y práctica. Les impide ser recursos separados o una última moda. Sin una orientación sistémica, no hay motivación para examinar cómo se interrelacionan las disciplinas. Al enfatizar cada una de las demás disciplinas, el pensamiento sistémico nos recuerda continuamente que el todo puede superar la suma de las partes. De esta manera existen varios caminos de tal manera que el pensamiento sistémico permite que mediante diferentes disciplinas es decir diferentes caminos, se pueda encontrar la solución de problemas de acuerdo al enfoque sistémico, como se ilustra en la figura 2.1, el enfoque de sistemas desde diferentes caminos, para encontrar la solución al problema

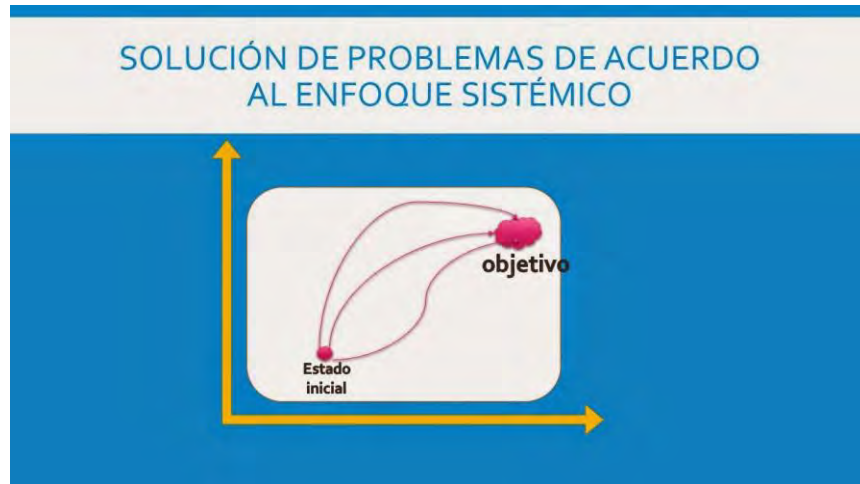


Figura 2.1 Camino de solución de un problema con la visión sistémica

2.2. Ciencias aplicadas

2.2.1 Análisis instrumental: Métodos instrumentales.

A principios del siglo XX, los científicos empezaron a explotar fenómenos distintos de los usados en los métodos clásicos para resolver problemas analíticos. Para recuperar la información deseada del analito, es necesario proporcionar un estímulo, el cual está casi siempre en la forma de energía electromagnética, Eléctrica, mecánica o nuclear, En general, los instrumentos para análisis químico constan de solo unos cuantos elementos básicos, El proceso de medición se vale de una gran diversidad de dispositivos que convierten la información de una forma en otra. Los dominios de los datos se podrían clasificar en dominios no eléctricos y dominios eléctricos

El principal objetivo de una medición analítica es obtener un resultado numérico final que sea proporcional a la característica física o química del analito que se buscaba.

3.2.2 Teoría de control

Para diseñar un sistema, en el caso de los sistemas de control automáticos, se debe comenzar con una predicción de su desempeño antes de que el sistema pueda ser diseñado en detalle o construido; tal predicción es basada sobre una descripción matemática de las características dinámicas del sistema, esta descripción matemática es llamada Modelo Matemático. Para muchos sistemas físicos, los modelos matemáticos útiles que los describen, están en términos de Ecuaciones Diferenciales (Ogata, 2003)

La metodología para modelar un sistema físico propuesta por el autor Kasuhico Ogata en su libro *System Dynamics* es la siguiente:

1. Dibuja un diagrama esquemático del Sistema y define las variables
2. Usando las leyes de la física, escribe las ecuaciones para cada componente, combínalas de acuerdo al diagrama del sistema y obtén un modelo matemático.
3. Para verificar la validez del modelo matemático, es preciso comparar los resultados obtenidos con resultados experimentales.

2.2.1.2 Electromagnetismo

El electromagnetismo es la rama de la Física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría, cuyas bases fueron sentadas por Michael Faraday y descritas por primera vez de modo completo por James Clerk Maxwell. La teoría consiste en cuatro ecuaciones diferenciales vectoriales que relacionan el campo eléctrico, el campo magnético y sus respectivas fuentes materiales las cuales se le reconocen como ecuaciones de Maxwell. Los conceptos relacionados a la teoría electromagnética abarcan la corriente eléctrica, la polarización eléctrica y la polarización magnética.

La energía electromagnética es una entidad física que se estudia bajo dos perspectivas. La concepción ondulatoria que permite explicar ciertos fenómenos como los fenómenos ópticos de difracción e interferencia, enmarcando a la radiación como un campo eléctrico y un campo magnético oscilando en planos perpendiculares entre si ver Figura 2.1, el fenómeno ondulatorio refleja una doble periodicidad tanto en el espacio como en el tiempo, donde la periodicidad espacial es la que determina la longitud de la onda, que es la distancia entre dos puntos consecutivos de igual amplitud en el campo eléctrico como en el campo magnético. Además de que el intervalo de tiempo entre dos puntos consecutivos de la misma amplitud donde tanto el campo magnético como el campo eléctrico alcanzan el mismo valor es llamado periodo T . De aquí se define la frecuencia de radiación como la relación $\frac{1}{T}$. (Resnick *et al*, 1999).

Donde h es la constante de Planck, c es la velocidad de la luz y λ es la longitud de onda, se tiene que el espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la radiación ultravioleta, la luz

visible y la radiación infrarroja, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio, Figura 2.2. La luz visible es una muy pequeña porción de este espectro y comprende a las ondas electromagnéticas que están en el rango de longitudes de onda entre 400 nm y 700 nm (Resnick *et al*, 1999; Tippens, 2011).

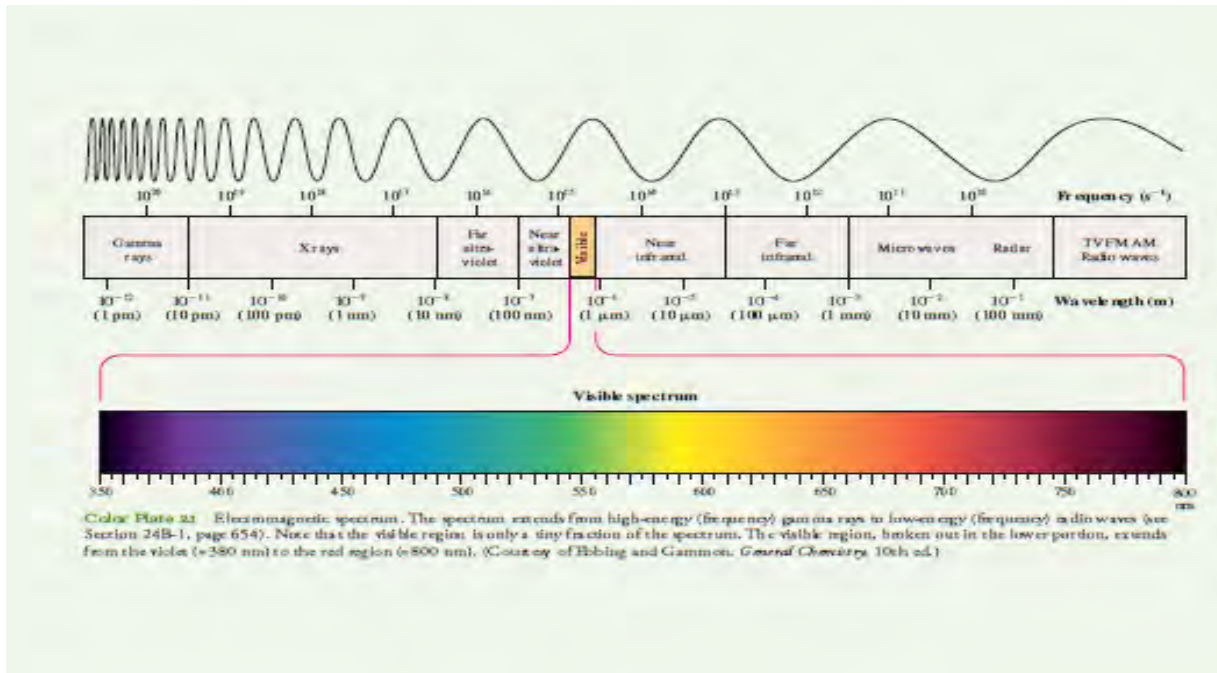


Figura 2.2 Espectro electromagnético como función de la frecuencia y la longitud de onda

Interacción de la radiación electromagnética con la materia

Los entes físicos se encuentran constituidos por sistemas del tipo atómico-moleculares, el contenido de energía de estos sistemas se considera primordialmente como una suma de varios aportes energéticos constituidos por la energía translacional, la energía vibracional asociada a las vibraciones de los átomos entorno a su posiciones de equilibrio en las moléculas, energía rotacional asociada a las rotaciones de la molécula entorno a ciertos ejes además de la energía electrónica asociada a los electrones contenidos en la molécula. En base a la mecánica cuántica las energías antes mencionadas a excepción de la translacional solo pueden adoptar ciertos valores discretos.

Termodinámica

La termodinámica es un subconjunto de la física, la cual se encarga del estudio de los efectos producidos por los cambios de temperatura, volumen, presión en un nivel macroscópico de la materia. A partir de la transformación de la energía térmica en energía mecánica y del proceso inverso, de la conversión de trabajo en calor (Tippens, 2011).

Se apoya fundamentalmente en las leyes de la termodinámica, las cuales postulan que la energía puede ser intercambiada en forma de calor o trabajo.

La primera ley de la termodinámica establece el principio de conservación de la energía denota que: en cualquier proceso termodinámico, el calor neto absorbido por un sistema es igual a la suma del trabajo neto que éste realiza y el cambio de su energía interna (Tippens, 2011).

La segunda ley de la termodinámica establece la dirección en la que deben de llevarse a cabo los procesos termodinámicos; es imposible construir una máquina que, funcionando de manera continua, no produzca otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente de trabajo. Dando como resultado que el flujo de calor siempre es unidireccional de la fuente de mayor temperatura hacia los de menor temperatura, y así lograr un equilibrio térmico (Tippens, 2011).

La tercera ley de la termodinámica puede describirse a través de estos dos postulados:

Teorema de Nerst: este dice que una reacción química entre fases puras cristalinas que ocurre en el cero absoluto no produce ningún cambio de entropía. Enunciado de Nerst-Simon: El cambio de entropía que resulta de cualquier transformación isoterma reversible de un sistema tiende a cero según la temperatura se aproxima a cero; la entropía de todas las sustancias puras perfectamente cristalinas es 0 a 0 grados Kelvin (Tippens, 2011).

2.3 Marco metodológico

Las diferentes formas de obtención del conocimiento y los recursos disponibles en la actualidad permiten involucrar soluciones a los problemas integrales abarcando mayor extensión de con los posibles vínculos que tiene el objeto de estudio con el sistema o los sistemas al cual pertenece.

2.3.1 Metodología para el desarrollo de la investigación

Para la realización del presente trabajo se ha de considerar una visión integral para poder realizar los objetivos a cabalidad y con el mayor impacto posible; esto debido a que los requerimientos actuales no solo requieren de una solución teórica y/o técnica si no una respuesta que permita lograr el mayor impacto en la resolución de la problemática como un sistema.

Esto debido a ello la metodología para el proceso de desarrollo de la investigación ha de ser como la mostrada en la Figura 2.3, se aborda la problemática partiendo de los contextos que involucran la problemática la descomposición del problema general por medio de la investigación documental y los trabajos que se han realizado al momento, posteriormente se adentra cada vez más en los posibles aportes que se pueden ofrecer mediante las habilidades y el conocimiento adquirido y desarrollado; empleado para todo ello el proceso de experimentación el medio por el cual se pueden obtener las aportaciones (cumplir con los objetivos específicos y general) de tal forma que se pueda generar y evaluar las posibles aportaciones generadas.

Todo ello se distingue mediante una metodología que distigue ciertos procesos de ejecución para la obtención de resultados y que se describe de la siguiente manera como se menciona en la Figura 2.3.

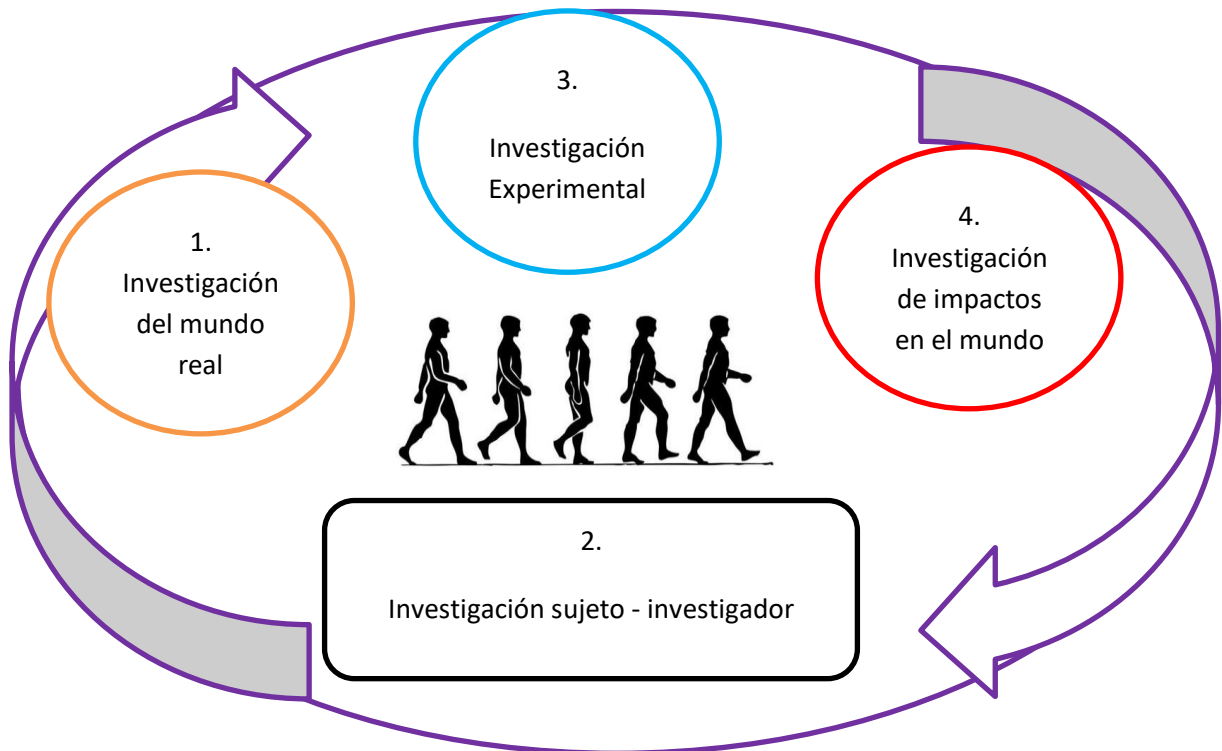


Figura 2.3. Metodología para la realización de la investigación (Hernández 2007)

Las fases de la metodología son las siguientes:

1. Investigación del mundo real: permite conocer la problemática que involucra nuestro objeto de estudio, qué alternativas o qué trabajos similares se han propuesto, asumir e identificar el conjunto de variables que lo caracterizan, si se ha podido resolver de manera parcial o en forma alternativa mediante otras propuestas, a quién o a quiénes les puede interesar la propuesta que se ha planteado.
 - Conocimiento de la problemática
 - Reducción de la problemática mediante la focalización del área donde podemos atacar el problema
 - Selección del objeto de estudio
 - Conocimiento de las partes del objeto de estudio
 - Selección de las áreas en donde se pueden hacer mejoras o aportes mediante los conocimientos teórico-práctico, propios y de los actores que viven la problemática.
 - Investigación de los aportes actuales y métodos que se han utilizado para la solución del problema

2. Investigación sujeto-investigación: se realiza la evaluación personal a partir del auto conocimiento a uno mismo, permitimos la apertura hacia el conocimiento nuevo, la comunicación con los actores que se involucran o que tienen experiencia en los campos que de trabajo respectivos, logrando un proceso de crecimiento tanto de la visión y alcance de nuestros aportes como poder permitimos la apertura hacia la actitud y el rigor que nos permite el crecimiento personal.
 - Apertura a la visión sistémica
 - Análisis FODA personal
 - Mejora del individuo mediante al autoconocimiento y la auto observación
3. Investigación experimental: se plantea un proceso de retroalimentación continuo alimentando con el conocimiento y aprendizaje obtenido de la experiencia y los procesos precedentes; realizando una interconexión entre cada experimentación hasta llegar a la refutación de las hipótesis en cada experimentación.

Se realizan pruebas de la instrumentación propuesta, partiendo desde el ajuste del dispositivo, pruebas comparativas en laboratorio retroalimentación y evolución del dispositivo

4. Investigación de impactos en el mundo real: Se evalúa el trabajo realizado, en el mundo real mediante la comparación de resultados y la prueba de quienes pudieran emplear la propuesta de prototipo realizada.

Se obtienen datos e información del mundo real a partir de implementación generada



CAPÍTULO 3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1 Investigación del mundo real

3.1.1 Conocimiento de la problemática

Para que México pueda despuntar con rapidez en el ámbito científico y tecnológico, se necesita saber exactamente cuáles son los temas prioritarios para el país ya que, en México como en otros países en vías de desarrollo no se puede abarcar con la misma intensidad todas las áreas de conocimiento.

Por eso se deben acotar los temas y trazar una ruta hacia donde se debe dirigir la ciencia, lo cual debe ser algo mucho más aterrizado de lo que se establece en los lineamientos gubernamentales como el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECITI).

Dentro de los temas prioritarios que se mencionan en la comunidad científica mexicana para las próximas décadas son: óptica cuántica, internet del futuro, ciudades inteligentes, estudios de red, energías renovables, nanotecnología y enfermedades emergentes, entre otros (CONACyT, 2016).

Como lo señala (Mateos, 2016) el gran reto en el área de la física, y en general en el resto de las disciplinas enfrentan, la solución es la vinculación con el sector industrial para que las investigaciones, desarrollos tecnológicos e innovaciones que se realizan no se queden solo en los laboratorios.

Actualmente México se encuentra en un punto de inflexión en el que cada acción cuenta para acelerar aún más el desarrollo científico y tecnológico que contribuya a impulsar una economía basada en el conocimiento. Sin embargo el esfuerzo y trabajo que hoy se hace, no se verá reflejado en el corto plazo, sino en una década o más, siendo las acciones que hoy se realizan serán las bases del mañana (Cabrero, 2016).

La investigación de frontera es un elemento importante para que el país transite hacia su inserción en la sociedad del conocimiento

Los proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico, innovación y proyectos creativos, se vinculan con la generación del conocimiento y/o con los diversos sectores de la economía nacional para resolver los problemas nacionales (SEP, 2015).

De la misma forma, se puede explicar en parte cómo avanza el desarrollo tecnológico en un país u otro, más allá de las diferencias en su PIB o su renta per cápita: las sociedades recurren a la innovación para solucionar problemas.

Los desarrollos tecnológicos no solo están ligados al mundo más desarrollado. Es en las regiones más limitadas donde se encuentran los ejemplos más destacados de crecimiento (OpenMind-BBVA, 2016).

De manera conjunta a México le aquejan los mismos diversos problemas que aquejan al mundo, donde los prioritarios son aspectos de salud, calidad alimentaria y desarrollo tecnológico que tengan impacto en el bienestar de la sociedad.

3.2 Fase II investigación Sujeto-investigador

El autoconocimiento es importante para destacar en qué puede aportar a la investigación, con qué herramientas se cuentan (conocimiento de la ciencias, de la tecnología, del entorno), qué actitudes y aptitudes se tienen, cuáles se pueden desarrollar y cuales se pueden mejorar o nivelar. Con una retrospectiva para poder distinguir cómo se podría mejorar como individuo, mediante precisamente tomar y fortalecer lo que nos hace fuerte y nivelar o a contrarrestar las debilidades, por medio del progreso continuo y apertura al conocimiento buscando una perspectiva sistémica, y poder así contribuir a resolver el problema planteado tanto de manera técnica como de manera humana

Análisis FODA personal



Figura 3.5. FODA sujeto investigador (Elaboración propia, 2016)

El análisis del sujeto investigador denota las fortalezas y debilidades que el investigador expresa como parte de lapotencialidad que puede otorgar para resolver un problema y en que partes podemos progresar como parte personal.

3.3 Fase III Investigación experimental

Comprobar el funcionamiento del sistema fotoacustico propuesto a base de fuentes de luz: LEDs (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad en longitudes de onda del rango visible contra la instrumentación de laboratorio, con muestras liquidas,

3.3.1 Actividad de investigación 1; Montaje experimental 1

Pregunta de investigación

¿Una instrumentación alternativa de espectroscopia a la del laboratorio convencional, daría un comportamiento semejante en el resultado de sus datos?

Objetivo: comparar la instrumentación tradicional de espectroscopia fotoacústica respecto al prototipo a utilizar en la presente investigación.

Hipótesis: el montaje experimental propuesto se comporta de manera similar en la obtención de señal fotoacústica respecto al de laboratorio

3.3.1.1 Materiales y métodos

3.3.1.1.1 Materiales:

Se utilizaron cuatro muestras distintas de azul de metileno disuelto en agua destilada en proporciones de concentración 1= 0.025 mg/5ml; concentración 2 = 0.25 mg/5 ml; concentración 3= 0.575mg/ 5ml; concentración 4= 1mg/5ml aproximadamente cada una.

Los métodos de captura de la señal fotoacústica fueron dos; el primero por medio de la instrumentación alternativa propuesta a través del prototipo y la segunda con una instrumentación tradicional para investigación en laboratorio, los dos montajes se describen a continuación.

Constitución del montaje experimental propuesto

Se realizó la implementación de la técnica fotoacustica (FA) en configuración de celda cerrada, para su utilización en la medición de la señal FA en materiales líquidos.

La celda fue construida en los laboratorios de equipos pesados de la ESIME Zacatenco, constituida por dos componentes principales, el cilindro y su tapa inferior, ambas fueron construidas con material de aluminio acopladas mediante un sello de vinil, donde la muestra

liquida es insertada en un contenedor cilíndrico de vidrio Pyrex que se coloca en la parte inferior (tapa) de la celda y es sellada herméticamente.

Cada haz de la luz de los LED es expuesto por la parte superior de la celda mediante un lente óptico empotrado sobre la celda; el conjunto de las partes que constituyen a la celda están acoplados y montados sobre un armazón metálico en el cual las fuentes de excitación LED se encuentra manipulados mediante un mecanismo electromecánico que los intercambia dependiendo de la longitud de onda (color) que se desee.

Una etapa de control fue desarrollada, la cual se encuentra constituida por arreglos de transistores MOSFET, IBJT y reguladores de voltaje para el control de potencia suministrada de manera independiente a cada uno de los cuatro LED, las señales de control para los LED y los mecanismos de movimiento, provienen de un microcontrolador Atmel (ARDUINO Leonardo); para la etapa de adquisición de la señales se encuentra un acoplamiento electrónico y optoelectrónico entre los diferentes componentes donde la señal generada y capturada por el micrófono electret son transmitidas a un amplificador de bajo ruido de 40 db de ganancia, para la referencia de señal se tomó la señal eléctrica generada por la etapa de control la cual es acoplada, ambas señales son capturadas por tarjetas independientes de audio USB y en conjunto los componentes se conectan a un concentrador (Hub) para ser conectados a una PC o LAP TOP por una sola conexión USB, para esta detección acústica se utilizó un micrófono de electret de 9.7 mm de diámetro con una apertura de 1mm, el esquema del diseño se aprecia en la Figura 3.2 A.

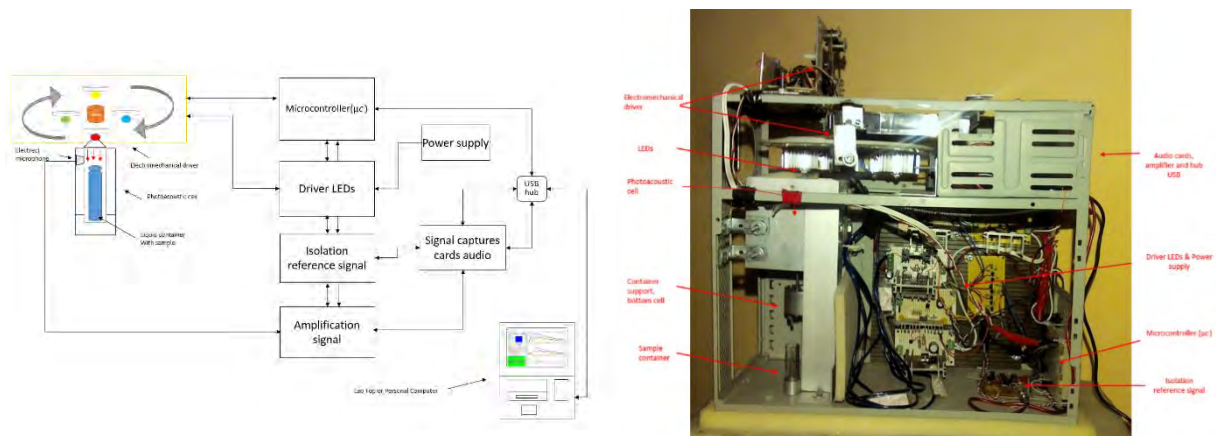


Figura 3.2 A) Diagrama esquemático del prototipo B) Imagen del prototipo

Para las señales de modulación se toma como fuente la señal generada por el microcontrolador para el control y modulación digital, esta señal se hizo como sustitución de la modulación electromecánica realizada comúnmente mediante chopper. El control, captura y manejo de las señales se implementa mediante un software en la plataforma de MATLAB 2015b. Donde con el uso del procesamiento digital de las señales, se realizó la emulación del componente del amplificador sensible a fase, utilizado en un montaje experimental tradicional.

La captura y control de las señales quedan como función de la frecuencia de modulación, con un rango de excitación de 1 a 1000 Hz y con la posibilidad de observar mediante graficas los valores de intensidad en mV de la señal respecto de la longitud de onda de cada LED y su frecuencia de excitación en conjunto con la señal de la fase. El prototipo final físicamente se observa en la Fig. 3.2 B.

Para cada medición se realizó el siguiente procedimiento del uso del prototipo: se tomó la muestra líquida y se insertó en el contenedor, este contenedor se insertó en la parte inferior de la celda donde se acoplan y se unen las partes que componen a la celda, quedando herméticamente cerrada con tornillos y a presión, se configuro mediante la interfaz gráfica las características de comunicación del programa al igual que las propiedades del muestreo: frecuencias y longitudes de onda; se ejecutó el programa y finalmente se obtuvo las señales FA en pantalla.

Montaje experimental tradicional de laboratorio

Se utilizó la implementación de la técnica fotoacustica en configuración de celda abierta, esta implementación se encuentra instalada en los laboratorios de técnicas fototérmicas del departamento de física del CINVESTAV-IPN, utilizando para tal efecto un micrófono de electroto de 9.7 mm de diámetro con una apertura de 1 mm de diámetro conectado a un amplificador lock-in Stanford Research Systems SR-850, el cual se selló con una hoja de aluminio de 15 μ m y en la cual se deposita la muestra líquida a medir con una gota material de aproximadamente 0.04ml, la fuente de radiación fue un láser de argón Stellar-Pro Select 150 en 514.5nm haciendo incidir la luz en la muestra al paso de un modulador electromecánico chopper y un espejo refléjate con un Angulo de 45°el chopper se encuentra conectado al lock-in ajustado a una amplificación de 64 db, conectado por puerto serial a una

computadora personal; el proceso de control y grabación de la señal se realiza mediante un programa implementado en la plataforma de software Labview; el esquema de la implementación se puede observar en la Figura .3.3.

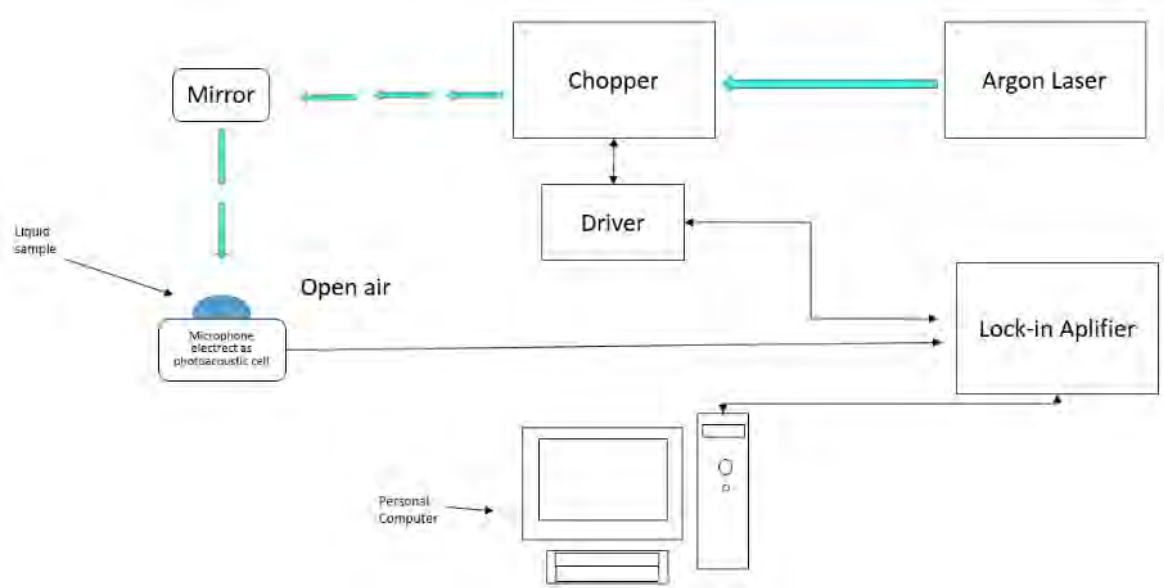


Figura 3.3. Diagrama esquemático de la instrumentación tradicional

Las tomas de mediciones se realizan el siguiente procedimiento del uso del equipo de laboratorio: una vez energizados los componentes conectados y ajustados se toma de la muestra líquida una gota y se deposita en la parte superior de la celda sobre la hoja de aluminio cubriendo la intersección del haz de luz con la celda, esto es al aire libre, se configura mediante la interfaz gráfica las características del programa como las propiedades del muestreo el rango de frecuencias, se ejecuta el programa y finalmente se obtienen la señal FA como función de la frecuencia.

3.3.1.2 Resultados

Para evaluar el funcionamiento del prototipo final se optó por utilizar las muestras líquidas en las concentraciones previamente mencionadas; los datos se ajustaron mediante implementación del software OriginPro 8.6; el análisis estadístico se realizó con el software SAS 9.1 para las pruebas de hipótesis.

Se implementó un diseño de experimento al azar: cuatro factores (muestras) con dos repeticiones, tanto en el uso del montaje tradicional de laboratorio como con el prototipo propuesto. Se utilizaron las mismas cuatro muestras en los dos montajes.

Para el montaje de laboratorio y el prototipo se obtuvo las siguientes combinaciones, vista en la Tabla siguiente.

Tabla 3.3.1 Combinaciones del proceso al azar de las mediciones realizadas

Medición	Laboratorio	Prototipo
1	concentración 1	concentración 2
2	concentración 4	concentración 1
3	concentración 1	concentración 2
4	concentración 3	concentración 3
5	concentración 4	concentración 4
6	concentración 2	concentración 1
7	concentración 2	concentración 4
8	concentración 3	concentración 3

Se realizaron en ambos casos un barrido en frecuencia de 10 a 200 Hz; las comparaciones se hicieron en 10 frecuencias en amplitud y fase como se muestra: en la Figura 3.4, respuesta del prototipo; Figura. Respuesta de la instrumentación de laboratorio convencional.

Para el caso del prototipo se optó por comparar las señales con la luz emitida en el rango del LED verde ya que es el más cercano a la longitud de onda del láser de argón utilizado.

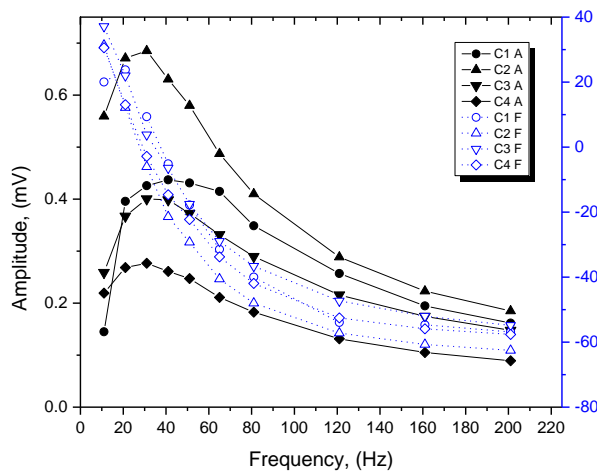


Figura 3. Señales fotoacústicas promedio de amplitud y fase para las diferentes concentraciones mediante la instrumentación de laboratorio; $C_x A =$ Concentración x, amplitud; $C_x F =$ Concentración x, Fase.

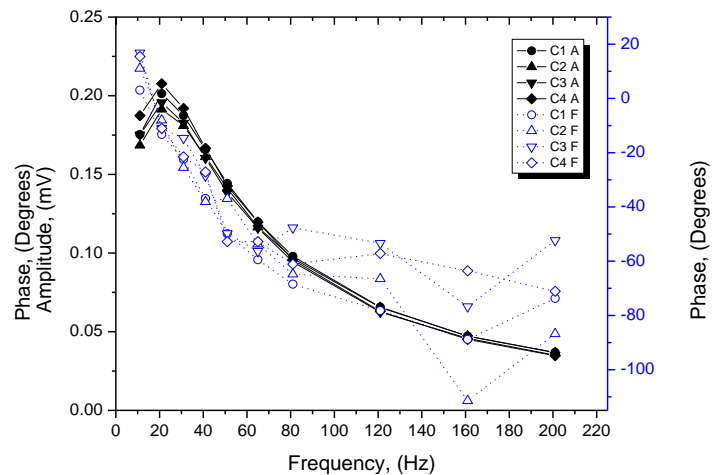


Figura 4. Señales fotoacústicas promedio de amplitud y fase para las diferentes concentraciones mediante el prototipo; $C_x A =$ Concentración x, amplitud; $C_x F =$ Concentración x, Fase.

Figura 3.4. Graficas de comportamiento de las de señales FA portátil y montaje de laboratorio.

Mediante el análisis estadístico se obtuvo que para el caso de la instrumentación del laboratorio, en los valores descritos para la amplitud hay evidencia de una diferencia estadísticamente significativa y en los valores de frecuencia superiores a los 65 Hz con un nivel de significancia ≤ 0.05 ; no obstante para valores inferiores de frecuencia existió una significancia menores al 0.1, por lo tanto puede dar cierta valoración para que puedan considerarse estadísticamente diferente aunque con menos restricción.

Mediante el análisis estadístico se obtuvo que para el caso de la instrumentación del laboratorio, en los valores descritos para la amplitud hay evidencia de una diferencia estadísticamente significativa y en los valores de frecuencia superiores a los 65 Hz con un nivel de significancia ≤ 0.05 ; no obstante para valores inferiores de frecuencia existió una significancia menores al 0.1, por lo tanto puede dar cierta valoración para que puedan considerarse estadísticamente diferente aunque con menos restricción. Respecto de la fase ninguno de los valores tiene diferencia estadísticamente significativa, es decir que todas las concentraciones presentaron el mismo comportamiento de fase.

Para el caso de la instrumentación propuesta mediante el prototipo, los datos arrojaron que entre los valores para diferentes concentraciones en la misma frecuencia de modulación no existía diferencia estadísticamente significativa como para considerarlos distintos; y al igual que para en caso de la fase como lo fue en la instrumentación de laboratorio no hay diferencia estadística significativa presentando el mismo comportamiento para cada concentración.

El análisis anterior e-s acorde, con lo que se esperó para la señal fotoacústica en este tipo de arreglo instrumental, ya que al emplear la técnica FA en modo de transmisión por celda abierta la señal FA es indirectamente generada no por la excitación de la muestra sino por la excitación del medio de suspensión que lo contiene en este caso con la hoja de aluminio; pudiéndose distinguir entre los diferentes tintes dependiendo de las propiedades térmicas y ópticas del material, no obstante la implementación realizada no presenta estas diferencias significativas porque se ha considerado como principal generador de la señal fotoacústica a la muestra, en la cual para este caso se podría considerar que la dilución del tinte en ella no fue lo suficientemente significativa como para poder cambiar las propiedades de absorción y así considerar que pudiera modificar la señal FA para el caso del agua destilada.

No obstante al poderla comparar en base al comportamiento de la señal fotoacústica como función de la frecuencia de modulación se consideró una dependencia semejante entre los factores amplitud vs frecuencia, como lo menciona Rosencwaig (1978). Existe una correlación negativa que puede ser evaluada en ambos casos por una función de potencia, de la forma $A = P1 * (f^{P2})$, de igual forma se optó por la utilización de una función exponencial para describir el comportamiento de las curvas de amplitud y fase. $A = a - b * c^f$, puesto que existió errores significativamente semejantes con esta función para las descripciones de comportamiento, para ambos casos se eligió la parte más lineal para el ajuste de datos que comienza alrededor de los 35 Hz en adelante en ambos casos tanto para instrumentación de laboratorio como el prototipo propuesto.

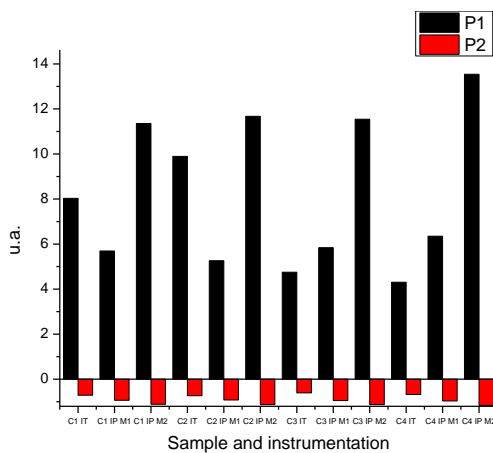


Figura 5. Valores de los parámetros de ajuste P1, P2; $C_x T$ = Concentración x laboratorio; $C_x M1$ = Concentración x método 1; $C_x M2$ = Concentración x método 2.

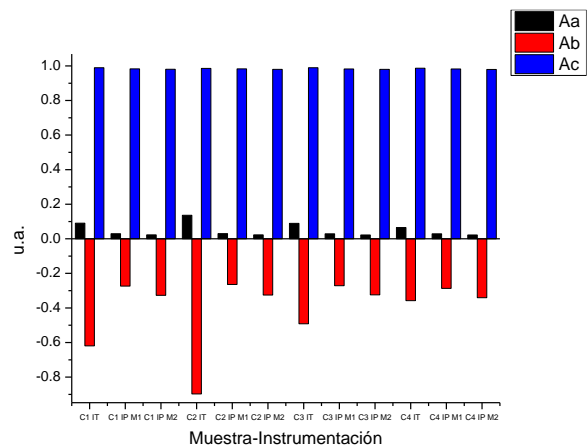


Figura 6. Valores de los parámetros de ajuste a, b, c; $C_x T$ = Concentración x laboratorio; $C_x M1$ = Concentración x método 1; $C_x M2$ = Concentración x método 2.

Figura 3.5. Valores de los parámetros de ajuste de curva de las de señales FA portátil y montaje de laboratorio.

Los resultados arrojados como se observa en la Figura 3.5, en las comparaciones indican que las curvas de comportamiento que más similitud tiene son en la concentración cuatro, que para el caso de la instrumentación de laboratorio es la que menos señal generaba y para el caso de la instrumentación propuesta la que genera más intensidad de señal fotoacustica.

Finalmente se realizó una comparación del mismo dispositivo propuesto en las diferentes longitudes de onda que ofrece, se optó por utilizar la muestra cuatro, se implementó un corrimiento en frecuencia de 10 a 200 Hz tomando puntos particulares de este escaneo obteniendo el siguiente comportamiento, véase Figura. 3.6.

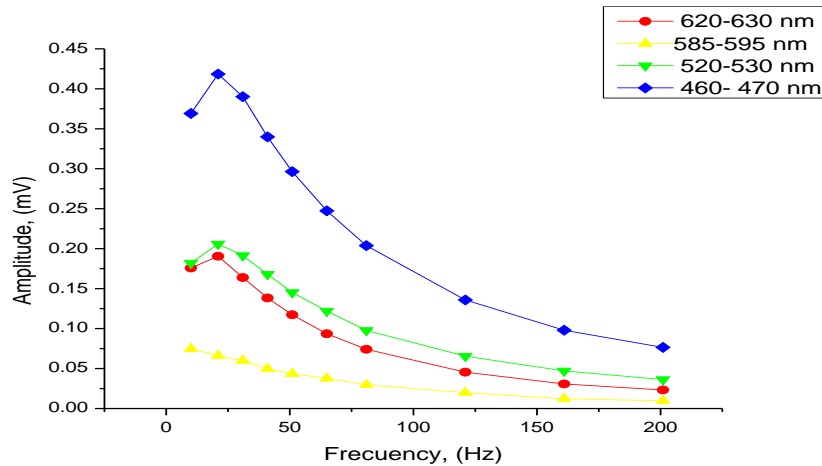


Figura 3.6 Comparativa de señales a distintos rangos de longitud de onda

A partir de los datos y gráficos obtenidos se entiende que existe una diferencia significativa según el análisis de comparación de medias, extrayendo que existe una fiabilidad por arriba del 95 % de que se pueden distinguir entre las diferentes radiaciones de luz a la cual trabajan los LED y que esta influye en la intensidad de la señal FA y su comportamiento, no así ezsto es suficiente para que sea significativa para las diferencias de fase según la frecuencia de modulación; en tal caso el LED correspondiente al longitud de onda más corta, LED azul; otorgó mayor intensidad en contraste a los demás.

3.3.1.3 Resultados actividad de investigación 1

Los resultados indican que en función de la frecuencia existe un comportamiento similar en ambas implementaciones tanto del equipo de laboratorio convencional como del prototipo propuesto, podría ser un sistema que podría utilizarse como elemento alternativo a los dispositivos comerciales, a la instrumentación de laboratorio empleada para la técnica de espectroscopia fotoacústica y la determinación de la señal FA con su posible utilización en líquidos.

Se planteo continuar con las comparaciones, con materiales de análisis que puedan entregar un contraste mayor como serian aceites o material biológico, e implementando un mayor

rango de radiación, con más longitudes de onda en un análisis de espectro, para que finalmente quede un instrumento seguro, robusto, confiable y portátil, para su futura aplicación.

3.3.2 Actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil

Se plantea el mejoramiento y caracterización eléctrica, electrónica y óptica del sistema FA portátil además de comprobar la linealidad de respuesta de las señales eléctricas del sistema fotoacústico y el comportamiento espectral del sistema portátil propuesto a base de fuentes de luz: LED (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad.

Pregunta de investigación

¿Qué comportamiento lineal o no lineal tienen los componentes de control y radiación del sistema FA se genera?

Objetivo: comparar y linealizar la respuesta en frecuencia del sistema FA y realizar la caracterización óptica de las fuentes de radiación para mejorar la salida y obtener linealidad de respuesta desde el sistema de medición.

Hipótesis: los sistemas de pre-amplificación y captura de señales normalmente utilizados en instrumentación convencional y alternativa para la implementación de la técnica FA, no responden de manera lineal como función de la frecuencia de entrada.

3.3.2.1 Materiales y métodos

3.3.2.1.1 Materiales:

Se utilizó el “sistema multiled portátil para obtención de señal fotoacústica de muestras líquidas” para su caracterización, los medios de evaluación fueron osciloscopio 70Mhz UTD2072CEX, generador de señales UTG9005C 5Mhz , multímetro UT139C RMS, UNIT-T; software Soundcard scope 1.46 y el software de control y procesamiento desarrollado para el sistema en la plataforma MATLAB 2015b, junto con diversa herramienta manual, para el caso de la caracterización óptica se contó con, dispositivos LED (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad en rangos de colores Rojo, Amarillo, Verde, Azul en intensidades de consumo de potencia de 5w y Violeta en 1.5 w; lente de focalización de radiación como complemento de los LED, fuente de alimentación regulada 0-30 V 5 A UNI-T, Amplificador

Lock-in SR-850, monocromador Oriol, Modulador electromecánico, dos preamplificadores de señal, cable de fibra óptica y computadora personal.

3.3.2.1.2 Constitución del montaje experimental propuesto

Dentro de los componentes principales que integran al sistema de medición fotoacústico es la parte de adquisición de datos el conjunto encargado de convertir la señales eléctricas generadas por el micrófono y el acoplamiento de fase de la señal FA, para la caracterización de repuesta en frecuencia se requiere identificar el comportamiento puntual, en el caso del montaje de evaluación propuesto se hizo la evaluación por frecuencia contra amplitud contra fase haciéndolo de 1 Hz en el rango de trabajo propuesto de 1 a 1 kHz

El procedimiento de toma y captura de señales es el siguiente, se identifica el componente de captura “tarjeta de adquisición de audio USB “para la cual se buscan las especificaciones técnicas como valores de entrada de voltaje conexiones filtros y polarización normalmente utilizada, se utilizaron 3 modelos adicionales al que se implementó como medio de captura en el sistema FA se éxito la entrada de audio de la tarjeta de audio por medio del generador de onda en intervalos de un Hz en modo de onda sinodal y onda cuadrada su visualización entiendo real es por medio de la medición en pantalla del osciloscopio junto con el valor obtenido por el multímetro en modo de voltaje, cada medición se tomaba el mismo voltaje de generador como parámetro en un volt pico a pico, se fue combinado distintos tipos de polarización para poder determinar la mejor opción del comportamiento frente a frecuencias bajas y frecuencia hasta 1 KHz es pruebas se repitieron en dos ocasiones y dependiendo la calidad de la señal obtenida se realiza una toma de muestra por tercera ocasión en la misma frecuencia de muestra, de igual manera se tomó el comportamiento de las señales de las ondas de onda cuadrada generadas por el dispositivo y como se acoplan y captan por las tarjetas de adquisición el procedimiento es similar a descrito para la utilización de generador de onda ahora el cual las señales son evaluadas con que calidad las genera y en tal caso ser compensadas por medio de la modificación de hardware o software correspondiente. El diagrama de flujo de la Figura 3.7 correspondiente al procedimiento de caracterización de linealidad del medio de captura es el siguiente:

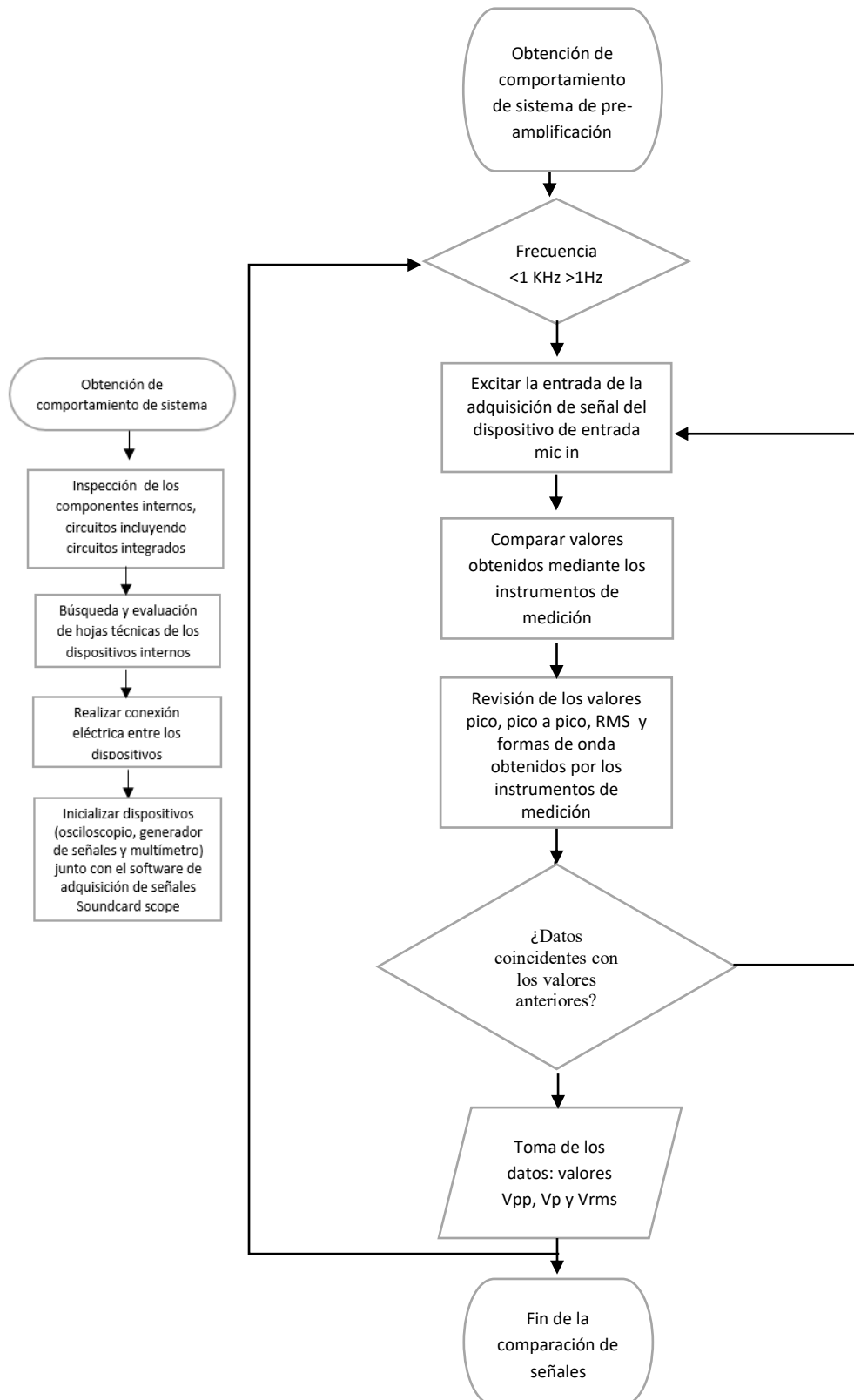


Figura 3.7. Procedimiento de caracterización de linealidad

Dentro de la etapa anterior por cada barrido en el rango de frecuencia presentado y en el caso que fuera necesario después de la evaluación del comportamiento se modifica parte del hardware de polarización y filtrado del dispositivo de captura para la etapa de caracterización de la respuesta en frecuencia del preamplificador se tiene como procedimiento el siguiente diagrama de flujo de la Figura 3.8.

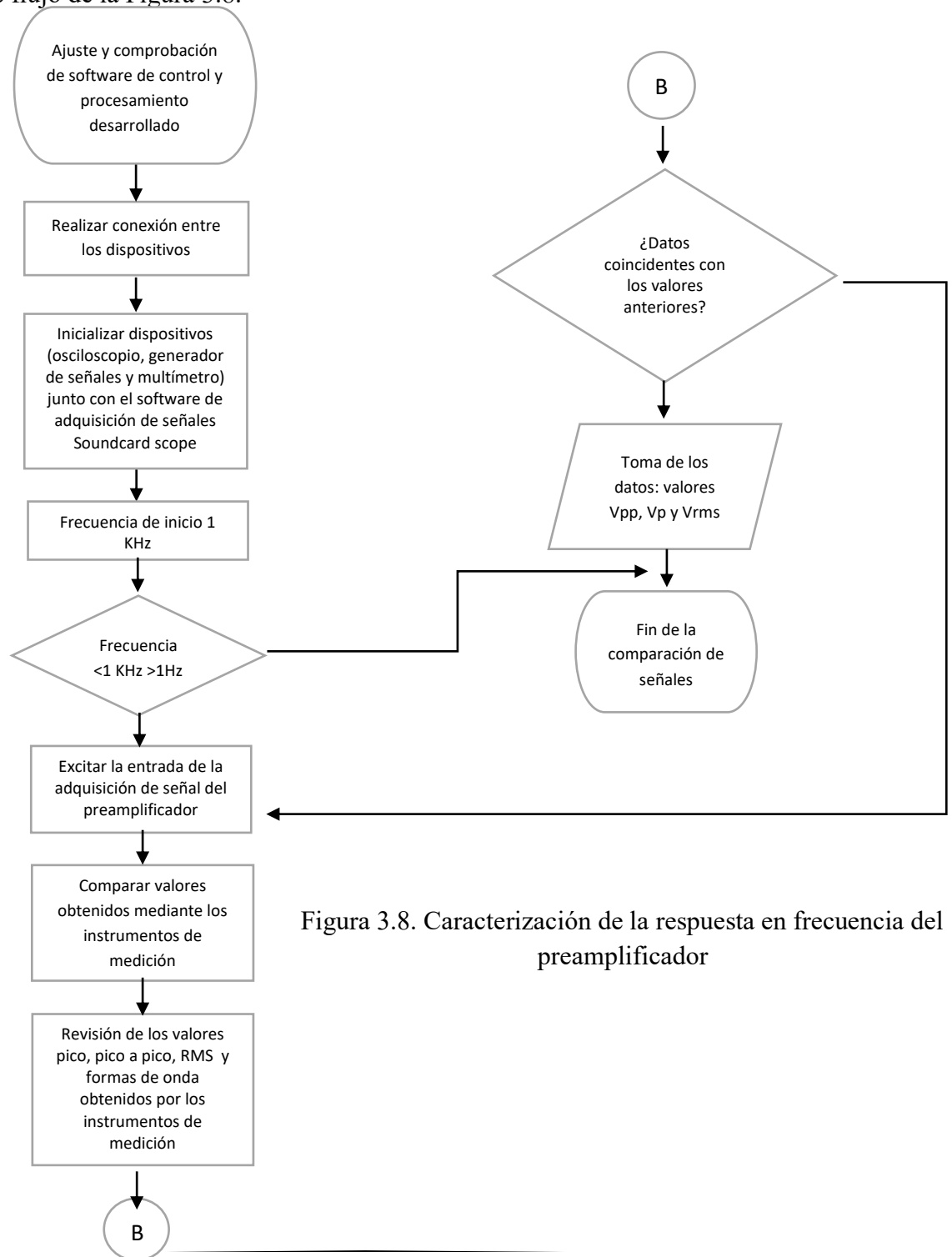


Figura 3.8. Caracterización de la respuesta en frecuencia del preamplificador

Como tercera etapa del proceso de mejoramiento en la adquisición de señales, una vez obtenida las dos caracterizaciones previas y a ver determinado las mejores opciones para la configuración de lo hardware y que reduzca la mayor parte de inconvenientes de limitación se procede a modificar el software de control y procesamiento de señales desarrollado para el sistema FA y poder compensar las deficiencias restantes mediante la aplicación de algoritmos. Posteriormente para comprobación de software de control y procesamiento se ejecuta el procedimiento de generación de onda a través del generador y se ejecuta el barrido automático de la excitación, observando por medio de la retroalimentación de la luz proveniente de los LED el inicio y fin del cambio de frecuencia y realizar para que posteriormente se ejecute el cambio de frecuencia en el generador de onda en forma manual, el diagrama de flujo del procedimiento de describe en la Figura 3.9.

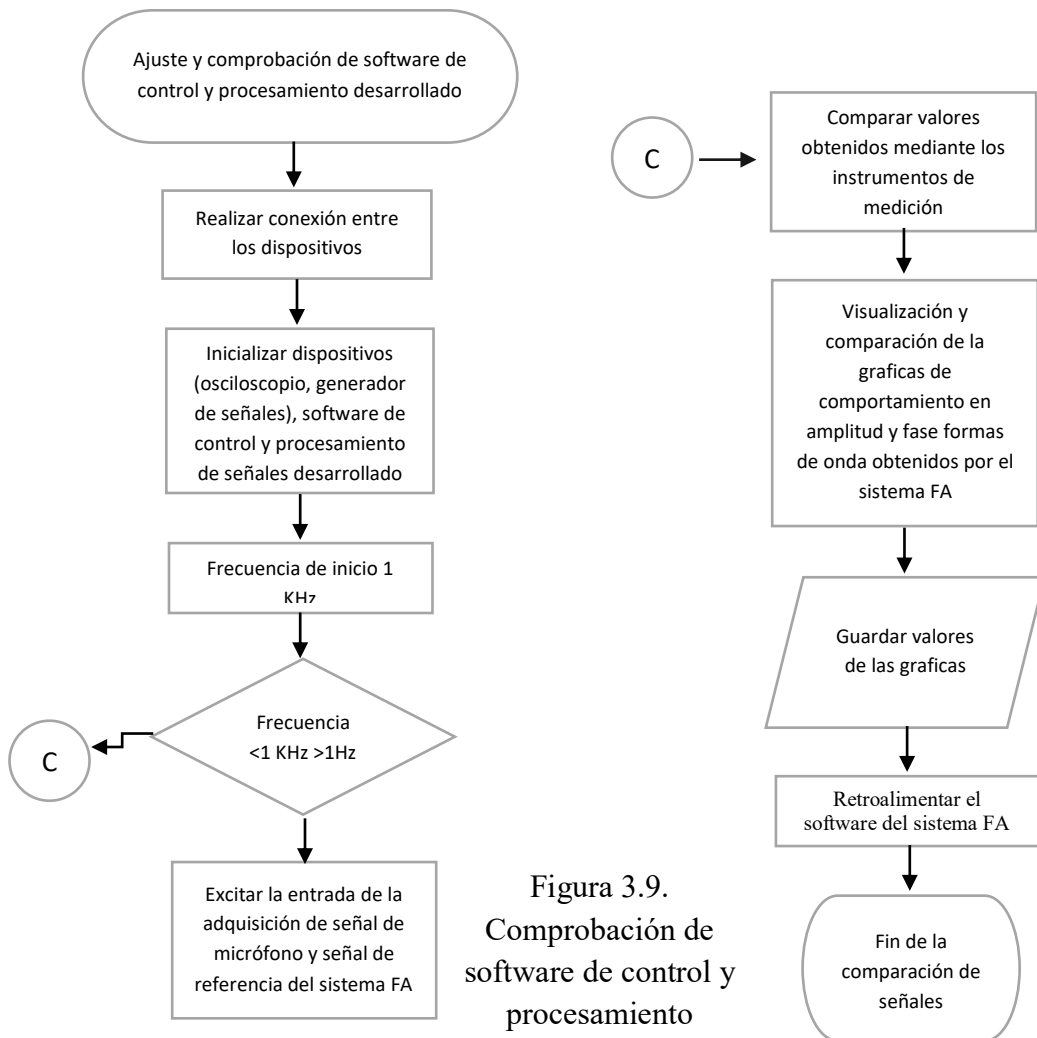


Figura 3.9.
Comprobación de software de control y procesamiento

3.3.2.2 Evaluación de dispositivos internos

Para evaluar el funcionamiento y la respuesta del sistema FA en función de la frecuencia de excitación y valor de amplitud controlada, se implementó el procedimiento descrito en el diagrama de flujo descrito en la Figura 3.9, donde se procedió a ejecutarlo en 4 módulos de audio USB de en 3 distintos modelos, a cada uno se le hizo una inspección profunda referente a la conexión de la polarización del micrófono que posteriormente se adhirió al módulo de pre amplificación y modificando el filtro pasa bajas que excluye la componente de CD de a la entrada de la captura de la señal como se aprecia en la Figura 3.10.

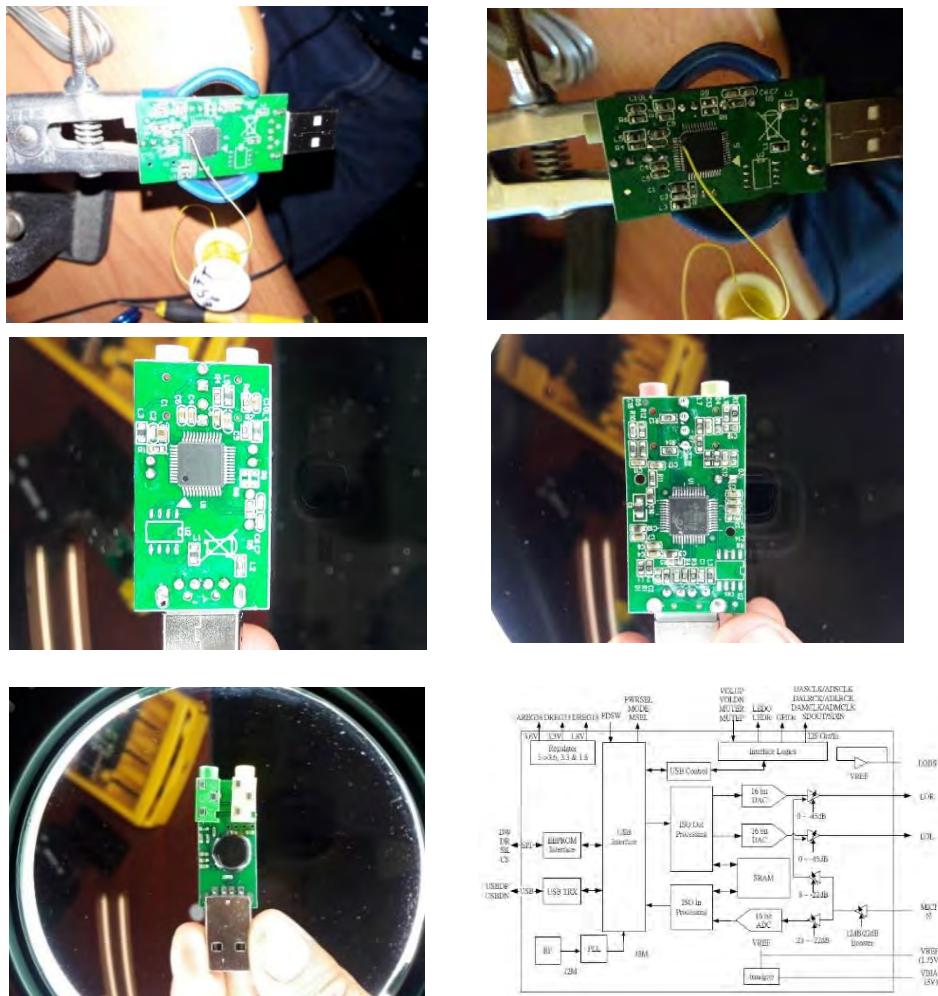


Figura 3.10 Vista de los componentes internos de los medios de captura de señal.

La inspección de los componentes internos arrojó que usan de manera general sistemas compartidos de adquisición de audio, no obstante se van actualizando en sus interconexiones

para modificar la funcionalidad y corregir o aumentar características del hardware dependiendo, de la marca y modelo.

Dentro del análisis técnico se detectó que se comparten similitudes con tarjetas de adquisición como las conocidas DAQ Multifunción de Bajo Costo de (NI, 2017), en cuanto a frecuencias de muestreo resolución de 16 bit y funcionalidad USB, en el caso de los dispositivos empleados cumplen a cabalidad con los requisitos ya que su función principal es en el uso y adquisición de audio para frecuencias audibles.

Una vez realizadas las conexiones para la medición de los parámetros se realizó el primer barrido de frecuencias de excitación, de 1 kHz a 1 Hz dando como resultado que se va degradando la forma de onda de la señales de entrada conforme se va disminuyendo la frecuencia de excitación con estas formas por debajo de los 20-25 Hz en todas las tarjetas evaluadas actuando como un circuito integrador de la señal de entrada por la configuración de los componentes de filtro pasa alto para la eliminación de la componente de corriente directa hacia la entrada de señal, este caso se presentó tanto para onda sinusoidal como para onda cuadrada, por lo que se procedió a modificar el filtro de corriente directa. De la misma forma se pudo evaluar la característica referente a los valores máximos de entrada y los valores de ganancia del propio driver para el para el sistema operativo, las formas resultantes de la captura de la tarjeta y sus formas de onda se aprecian en la imágenes del procedimiento Se realizaron cinco diferentes modificaciones a la etapa de filtrado de corriente directa correspondiente a la entrada de señal del dispositivo optando para que en frecuencias bajas se degradara la señal en la mínima cantidad posible, esto se realizó disminuyendo la frecuencia de corte del filtro modificando capacitancias de entrada del mismo, para que finalmente que dio un una atenuación no significativa en el rango de 10 a 1khz, y mínima de 1 a 10 Hz la cual se compensa mediante software, cada prueba de cambio de filtrado se realizó un barrido de frecuencia tanto en señal de forma de onda sinodal como señal de forma de onda cuadrada donde de igual manera aunque fueran distintos modelos compartían mismas características de filtrado y de respuesta en frecuencia.

Se tiene una señal de respuesta semejante tanto para adquisición de señal por el osciloscopio en comparación con la captura mediante la captura virtual por medio del software de simulación del osciloscopio.

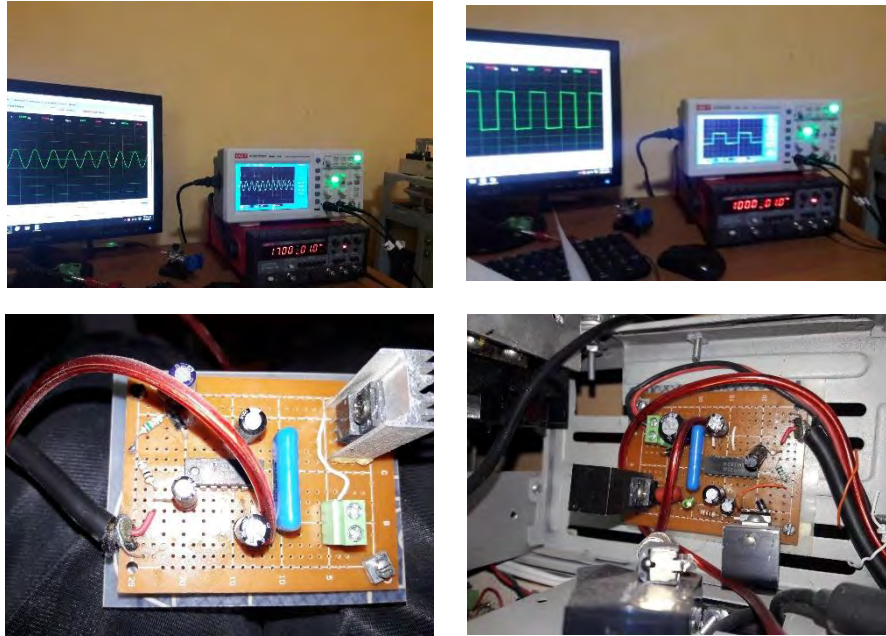


Figura 3.11. Mejoramiento del proceso de preamplificación de la señal FA

Para el caso de la caracterización del preamplificador y su mejoramiento descrito en la Figura 3.11, a pesar de ser un dispositivo dedicado a audio con características de señal de entrada para operar con alta ganancia a baja distorsión y bajo ruido las características representadas en sus graficas de comportamiento no tiene una definición clara para poder tener la certeza de linealidad por lo que se optó por realizar el procedimiento del diagrama de flujo de la Figura 3.9, por lo cual se realizó barridos de frecuencia de 1 kHz a 1 Hz tanto para verificar el comportamiento de la amplitud de entrada comparada con la salida y de igual forma el desfase o el retraso que existe de igual manera entre la entrada y la salida y que tiene que suprimirse ya que el propio efecto FA se genera estos mismos fenómenos.

Debido a que la señal FA la transforma el micrófono electret como dispositivo transductor este genera señales en la orden de mili Volt por lo que se dio a la tarea de implementar amplitudes semejantes para realizar el barrido se realizaron múltiples barridos en el rango de frecuencias mencionado de 1 a 1khz para poder determinarla linealidad , en este caso no se modificó de forma radical al hardware ya que se tenía el modo óptimo para este tipo de conexión y por ello se optó por implementar la función inversa del comportamiento para

poder contrarrestar la deficiencia de la repuesta en amplitud a través del uso de curvas de ajuste en la implementación del software.



Figura 3.12 Visualización del proceso de obtención de fase de la señal de caracterización
 Para el caso de la obtención de la fase como función de la frecuencia y su proceso de obtención correspondiente a la Figura 3.11 en el comportamiento del preamplificador, se realizaron barridos de frecuencia de excitación, para obtener mediante el modo XY del osciloscopio ya a través de la relación $\text{sen } \phi = \frac{a}{b}$ donde (a) es la amplitud de la distancia que existe en la separación interna en el elipse generado por la diferencia de fase y (b) la amplitud exterior de la forma de elipse genera en el modo XY del osciloscopio.

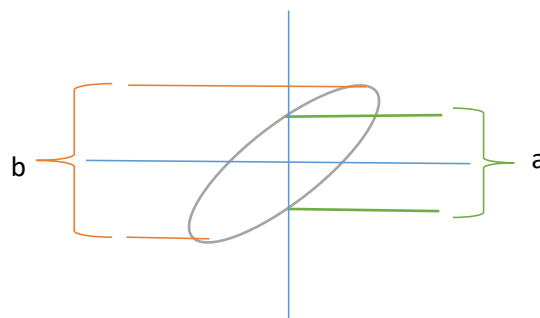


Figura 3.13 Obtención de ángulo de fase mediante interpretación de graficas

Resolviendo la relación $\phi = \arcsen \frac{a}{b}$, se obtienen los valores en grados a partir de las múltiples medidas de desfase como se muestran en la Figura 3.13 para así después de realizar los barridos en función del tiempo donde de igual forma se visualizó como se retrasa la señal

como en el modo XY todo esto para obtener los valores definitivos de los ángulos de desfase representados en las imágenes siguientes la Figura 3.14 representada en escala logarítmica se aprecia el comportamiento de decaimiento a partir de un Angulo de retraso de 95° , en la Figura 3.3.2.8. Se aprecia con más detalle como en frecuencia bajas éxito un desfase considerable con una tendencia a ser una función racional

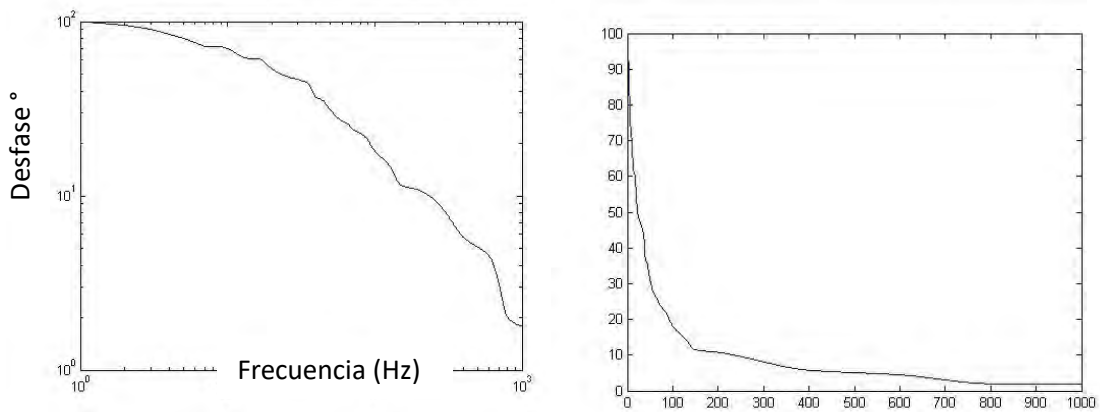


Figura 3.14. Respuesta en frecuencia de esfasamiento de señal

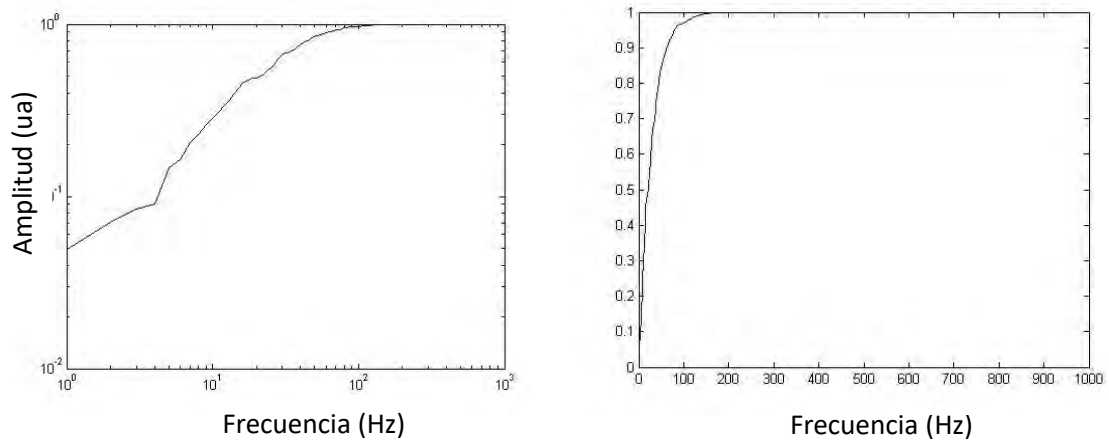


Figura 3.15. Respuesta en frecuencia de la amplitud de señal

Para el caso del comportamiento de la respuesta en amplitud por parte del preamplificador se determinó el comportamiento de la señal como se puede apreciar en la Figura 3.14 el cual la señal de respuesta está en forma logarítmica y por lo que se apreció un comportamiento hacia la estabilidad respecto de la amplitud conforme se iba incrementando la frecuencia de excitación, de igual manera apreciándose mediante la Figura 3.15 la señal de respuesta a

partir de aproximadamente los 150 Hz se tiene un comportamiento cerca de lo lineal respecto de la amplificación de la entrada, dentro de la incorporación al software se realizaron las interpolaciones pertinentes como función inversa para poder contrarrestar las deficiencias encontradas a través de los medios de captura y así poder mejorar la linealidad respecto de la respuesta en frecuencia.

Una vez realizada los ajustes necesarios en el software de control y procesamiento de señales y teniendo la certeza que por componentes individuales: tarjeta de adquisición y pre amplificación en conjunto con la polarización del micrófono con una etapa de filtrado de ruido optima se tuvo a bien ejercer el procedimiento descrito en el diagrama de flujo tres, donde este se efectuó en tres ocasiones y en el caso de señales que presentaban algún tipo de error debido a la velocidad de cambio para la modificación de la frecuencia de modulación se efectuó una medición adicional , de manera general se realizaron los corrimientos en frecuencia de 1hz a 1khz tanto en modo de onda sinodal como entrada de señal de referencia así como señal de entrada de señal simulando la entrada de señal fotoacústica , de igual forma se implementó como señal de referencia la referencia interna del sistema FA y como entrada de señal representando la señal fotoacústica proveniente de la celda al generador de onda, este mismo esquema se repitió en forma de onda cuadrada, como onda en corriente alterna y como función con nivel de corriente directa , en tal caso para que fuera únicamente señal positiva y no alterna, en los casos antes mencionados, se tuvo un comportamiento muy cercano a lo natalmente esperado para este sistema, y en el que se perciben variaciones por que no éxito sincronización entre las señales al momento de sintonizarla manualmente, a través del generador de señales.

Para el caso de la caracterización óptica de los dispositivos LED, Se implementó la técnica de espectroscopia fotoacústica (FA) en configuración de celda cerrada, para su utilización en la medición de la intensidad señal FA como función de la longitud de onda para LED de potencia en los colores, Rojo, Amarillo; Verde, Azul y Violeta.

El montaje experimental partió de la implementación de la instrumentación clásica de laboratorio, en este caso la ya implementada en el laboratorio de técnicas fototérmicas del Cinvestav-IPN, primeramente se preparó como muestra base de ajuste polvo de grafito, ya que este elemento puede absorber en todo el espectro que se podría emitir para el caso de las fuentes de radiación a evaluar, este se colocó dentro de la celda fotoacústica, para que

posteriormente esta se cierre herméticamente, se ajusta el punto focal de radiación procedente de la fibra óptica.

Para poder implementar dicha técnica se sustituyó la entrada de la normalmente usada lámpara de XENON, por la fuente LED como medio de excitación, se construyó una base soporte para sostener las fuente de radiación LED junto con el lente de focalización de luz para poder nivelar el foco de radiación hacia la entrada del dispositivo monocromador, el cual se encargó de realizar un barrido en pasos de un nanómetro de longitud de onda, en el rango visible-UV.

Una vez que la luz se vuelve monocromática esta se pasa por el dispositivo monocromador el cual se encontraba a una frecuencia de referencia de 17 Hz el cual hace variar la intensidad de la luz como una forma de onda aproximada a una onda periódica cuadrada, posterior mente la luz proveniente del modulador es interceptada por la fibra óptica, para dirigirla hacia la muestra de grafito, la cual se encuentra dentro de la celda fotoacústica.

A partir de la generación del efecto fotoacustico dentro de la celda el sonido es capturado por un micrófono de electret, el cual es el encargado de convertir la energía mecánica del sonido en una señal eléctrica capas de ser en viada en esta instrumentación a través de dos preamplificadores estos dos dispositivos, aumentan la señal a tal punto que pueda ser mejor capturada por parte del amplificador lock-in en respuesta a su sensibilidad, el que igual mente controla la sincronización con el modulador electromecánico, todo este proceso y el montaje utilizado se puede apreciar en la Figura 3.16. Donde se observa cada componente y su interconexión.

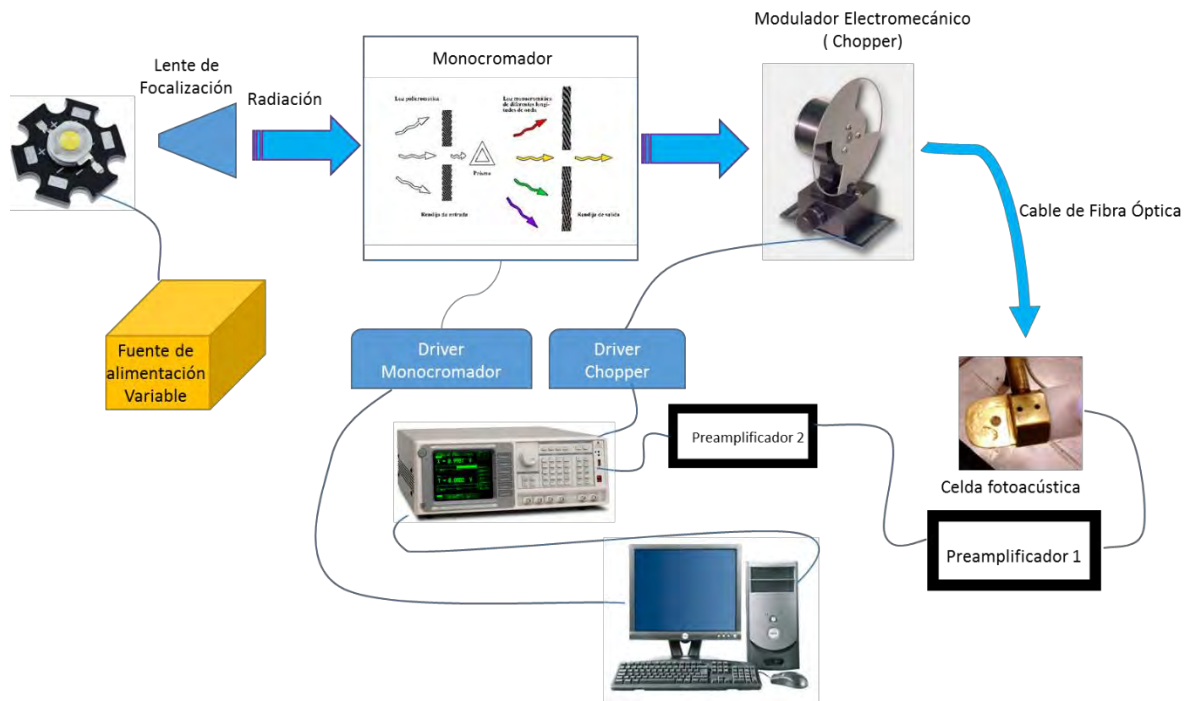


Figura 3.16. Montaje experimental para la obtención de la respuesta de emisión de dispositivos LED de alta intensidad.

Este procedimiento extendido se describe de la siguiente manera; una vez seleccionado a cual LED se va a implementar como fuente de radiación y se ajusta la alimentación del mismo respecto de cómo entrega la potencia el sistema portátil FA, cada uno de los cuales se ajusta en función del consumo de corriente para que cada uno arroje un consumo nominal de 5 watts de potencia como lo indican su fichas técnicas de trabajo, y solamente el LED de color violeta restringe a una potencia superior respecto de la potencia nominal que es de 1W hacia 1.5W, la Figura 3.17, muestra el procedimiento físico de la captura las emisiones de radiación de los LED de alta intensidad.

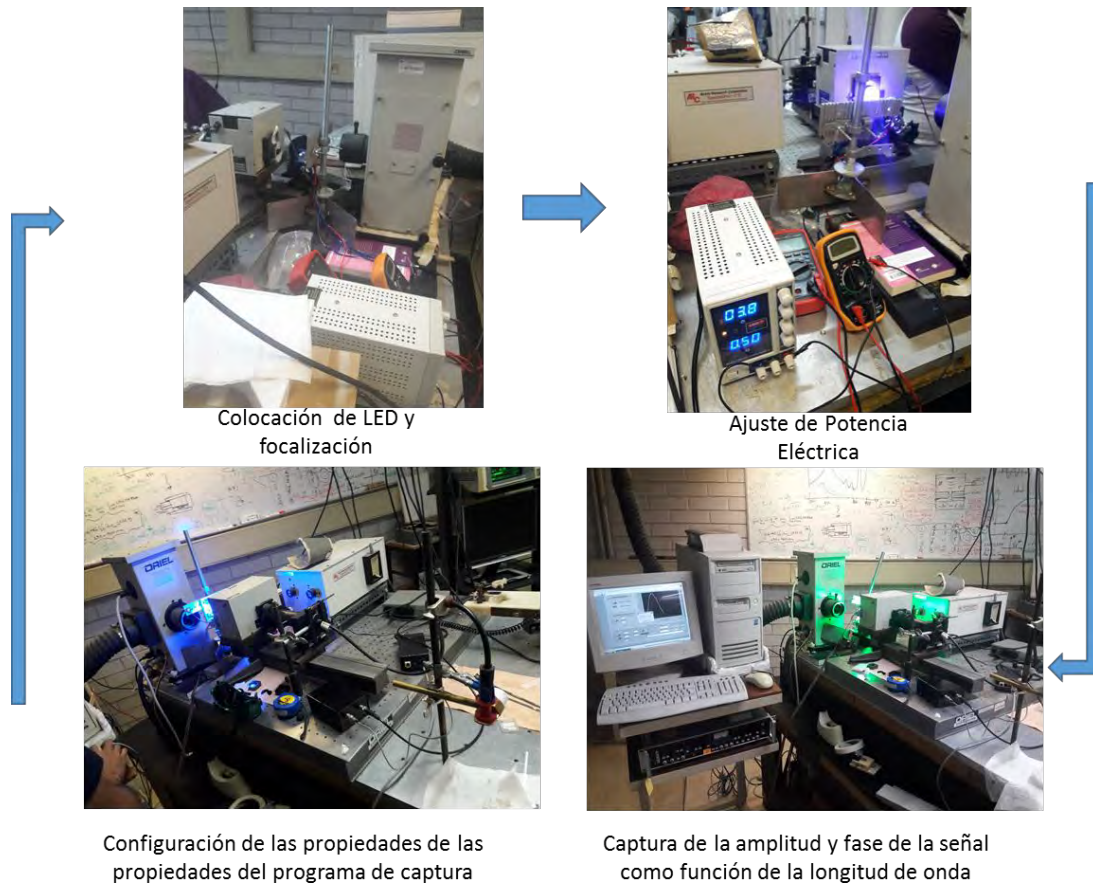


Figura 3.17. Procedimiento de captura de espectro de emisión de LED de alta intensidad

Como procedimiento adicional se implementó una toma de medición de potencia de radiación emitida LEXER LASER 510 para poder comprobar las intensidades de radiación respecto de la longitud de onda y la distancia de toma de la medida respecto de la fuente de radiación y el la sonda de detección.

Se implementó la medida de radiación como se muestra en la Figura 3.18 Para poder tomar las medidas de intensidad de radiación, nuevamente se contó con un soporte para los LED como el utilizado en la implementación anteriormente descrita para la evaluación del espectro de radiación, igualmente un lente para el focalizado de la luz, utilizando las mismas características eléctricas de la descripción anterior, y con los mismos parámetros de corriente y potencia nominal de consumo, se realizaron las mediciones a 0, 6 y 10 centímetros de separación entre la fuente y la sonda de medición.

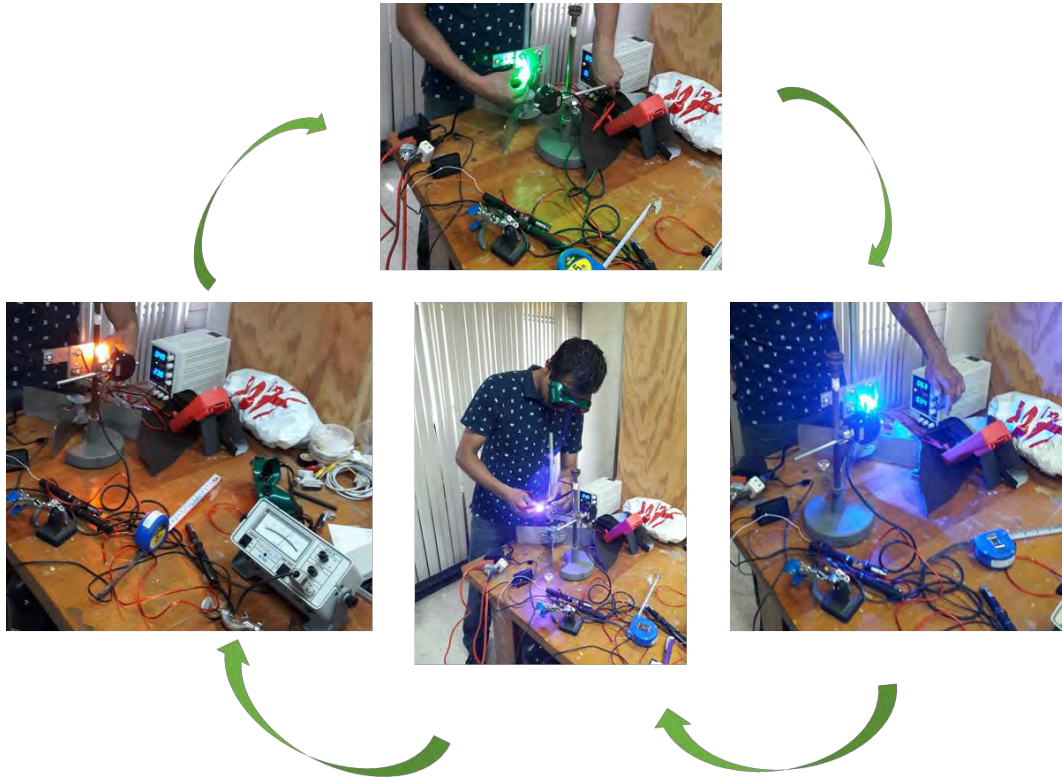


Figura 3.18. Toma de medición de intensidades de radiación de LED de alta intensidad

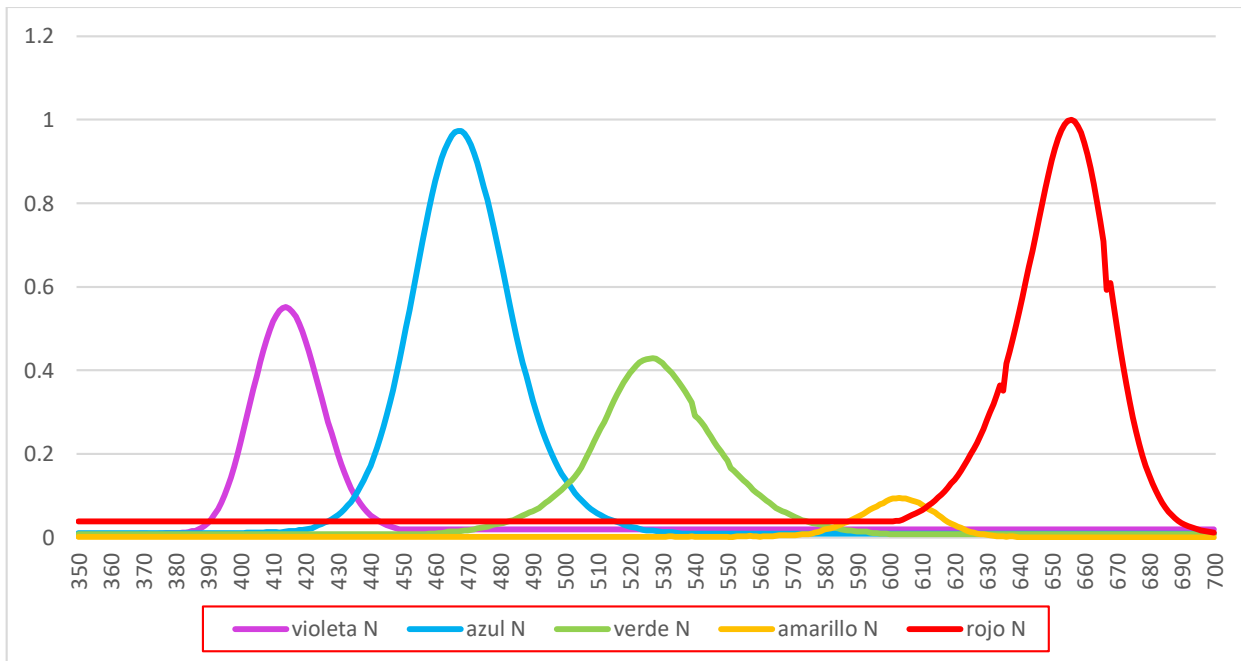


Figura 3.19 Espectros de Emisión de LED utilizados en el Sistema FA

Las mediciones una vez ajustadas respecto de la máxima amplitud en este caso la máxima amplitud se presentó para el LED de alta intensidad color rojo con el pico de emisión en 656 nm con un ancho de banda a los costados de 100nm con las colas de emisión en 600 y 700 nm aproximadamente en el caso del LED de color amarillo se tiene una disminución de más de 10 veces respecto de la máxima amplitud presentada, su pico de emisión se encuentra en los 603 nm con una banda de emisión estrecha de alrededor de 50 nm, para el LED verde se tiene su pico de emisión resultante a los 527 nm con la cola superior en 590 nm y por su límite inferior aproximadamente en 465 nm con un ancho de banda de 125 nm superior a los colores amarillo y rojo, respectivamente la emisión del LED correspondiente al color azul su pico se encuentra a los 467 nm con límites a los 525-hasta 415 finalmente para el LED violeta su banda de emisión comienza en alrededor de los 385 nm hasta los 450nm con una separación de picos de 65 nm y un máximo de emisión en los 414 nm; representado en la Figura 3.19

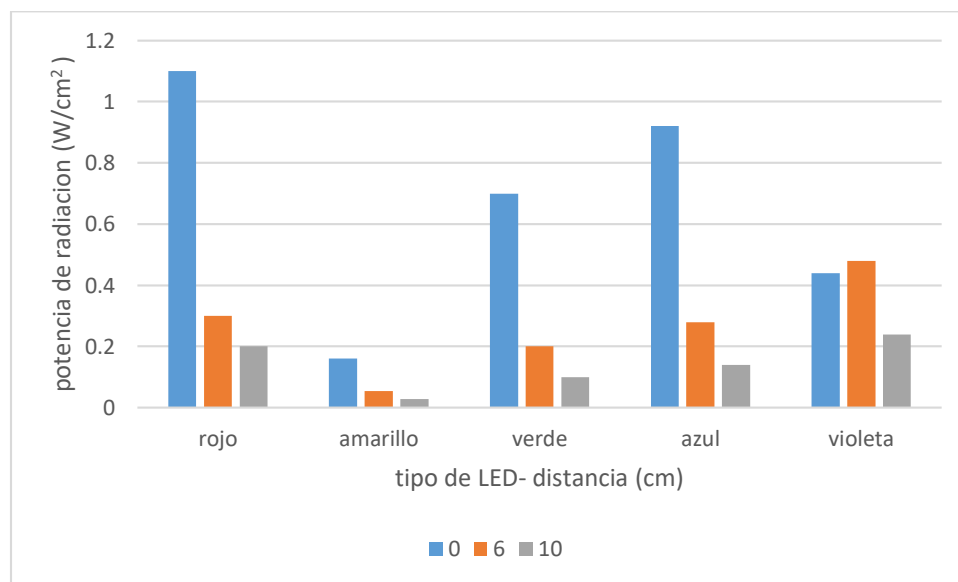


Figura 3.20. Intensidades de radiación vs color de LED vs separación de medición.

3.3.2.2 Resultados de la actividad de investigación 3

Se consiguió que la respuesta a la estrada de las señales se unificara en una calidad que puede considerarse lo más cercana a lo lineal respecto a la frecuencia de excitación, siendo este uno de los principales problemas que presentan este tipo de dispositivos, de igual manera una vez resuelta las dificultades que aun presenta el hardware a pesar de tener la configuración optima

esto se pudo resolver por medio de corrección de software por medio de la interpolación de la función de respuesta en el caso de la pre amplificación, quedando integrada dentro del sistema de procesamiento de señal dentro del algoritmo del método de captura de señales; todo esto hizo posible que se tenga una mayor certeza en cuanto que se tiene una señal virtual equivalente a las señales de entrada del sistema FA, que es columna vertebral del método de muestra de la señal FA.

Las comparaciones entre la potencia consumida respecto de la cantidad de radiación generada ver Figura 3.19, resultan en una eficiencia mayor por parte del LED de color violeta, para el caso de los otros cuatro LED resulta en una radiación aproximada entre el LED Azul y el LED color rojo, tanto en las mediciones respecto del espectro de emisión sino también con respecto de las mediciones de radiación directamente, LED de color verde representa poco más del 40 % de la emisión máxima registrada por el LED rojo donde se distingue con claridad su espectro de emisión no obstante para el caso del de color amarillo tanto su espectro de emisión como su potencia de radiación se ven comprometidas respecto de los otros dispositivo representando una menor eficiencia y también que el valor de su intensidad pueda influir en la fuente de radiación apartir de las opservaciones y medidas como se plasma en la Figura 3.20, como forma de estimulación para el caso del sistema desarrollado

3.3.3 Actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.

3.3.3.1 Introducción

La espectroscopia fotoacústica con fundamento en el fenómeno fotoacústico descubierto por Alexander G. Bell (Bell, 1880) fue el inicio del estudio de las técnicas fototérmicas, que se basan en la incidencia de energía luminosa de forma modulada sobre una muestra de estudio, esta energía es absorbida y parcialmente es convertida en calor, este calor es generado en forma de flujo periódico, lo que origina una onda térmica que se propaga y en el caso del fenómeno fotoacústico (FA) se convierte en ondas de presión generando sonido (Rosencwaig y Gersho, 1976; Rosencwaig, A., 1975).

Este tipo de análisis físico ha tenido mayor implementación como método de caracterización en el estudio de propiedades térmicas y ópticas de diferentes campos de estudio.

Siendo necesario generar más desarrollos tecnológicos con el empleo de las técnicas fototérmicas, en equipos de tipo portátil, ya que se pueden emplear como herramientas de investigación alternativa. Donde los equipos utilizados actualmente continúan siendo costosos, con movilidad limitada o que se encuentran en centros especializados.

Actualmente existen algunos sistemas de análisis por medio de la técnica fotoacústica ya registrados, dentro de los que se puede mencionar los encontrados en la Tabla 3.3. 3.1 que es la comparativa de resultados que devuelven las diferentes bases de patentes por medio de las oficinas de patente u en su caso las bases de datos internacionales expuestos en la Tabla 3.3.3.2. Como procedimiento para poder llevar esta comparación se recurrió a una búsqueda del estado del arte a través de un informe de antecedentes tecnológicos, en este caso presentado al Centro de Patentamiento IPN-IMPI, donde se realizó una estrategia de búsqueda por medio de las palabras o frases: “photoacoustic” “photoacoustic led”, “photoacoustic signals”, “spectrum photacoustic”, “photoacoustic signal liquid”, “laser photoacoustic detector for liquid”. Junto con una búsqueda documental propia para ampliar la comparación disponible y poder diferenciar el equipo desarrollado y construido de otros dispositivos ya existentes, más allá del prototipo base que se está utilizando para su mejora

Tabla 3.3.3. 1 Bases de datos consultadas por el Centro de Patentamiento IPN-IMPI

País	Oficina	Página
Países Europeos	European Patent Office (EPO)	http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP
Estados Unidos / PatFT - AppFT	United States Patent Trademark Office (USPTO)	http://www.uspto.gov/patents/process/search/index.jsp
EPO / LATIPAT	Base de datos de de Invencciones Latinoamericanas (LATIPAT)	http://lp.espacenet.com/
WIPO	World Intellectual Property Organization	http://www.wipo.int/portal/en/index.html
Internacional	Google	https://www.google.com
Internacional	Google patents	https://www.google.com.mx/?tbm=pts
Bases de Datos de Patentes Internacionales	Bases de datos de los diferentes países en la regiones de África, Norte y Sudamérica, Europa y Asia	

La presentación de la Tabla 3.3.3.2 son los documentos rastreados en las bases de datos internacionales de publicaciones científicas que se consideran más cercanos al sistema propuesto y sus mejoras, que se presentan como reporte, donde nos recomendaron por parte de los centros especializados, analizar con detalle cada una de las invenciones ya que aunque no sean exactamente similares a la invención en cuestión, pueden presentar similitudes con partes puntuales de ésta, por lo que se realizó una confrontación del reporte de análisis de antecedentes tecnológicos: por medio de la explicación de las diferencias de lo presentado por la búsqueda tecnológica respecto de la propuesta generada.

Tabla 3.3.3.2. Revisión de patentes y literatura científica relacionada al sistema propuesto.

Reporte	Descripción	Análisis Crítico
Taekwondo Protective Equipment For Photoacoustic imaging system based on LED	Se describe un modelo de utilidad que se basa en una fuente LED para formar imágenes por medio de la técnica fotoacústica con un transductor para la detección de la señal, un preamplificador, el uso de un osciloscopio como método de adquisición de la señal y una computadora conectada al osciloscopio como medio de visualización	El dispositivo propuesto cuenta con 4 fuentes de excitación LED de alta intensidad que permiten mayor intensidad de radiación sobre la muestra a evaluar en comparación con LED's convencionales, permitiendo un rango amplio de longitudes de onda debido a que cada uno de los LED's cubre diferentes regiones del rango de luz visible, donde el dispositivo en su totalidad se encuentra ensamblado en un módulo único en el cual se encuentran integrados los sistemas de modulación, control de potencia, captura de señales, se realiza una modulación digital. El dispositivo tiene la posibilidad de poder integrar más de un LED debido a que se encuentran controlados de manera independiente con un selector y la posibilidad de agregar más de un sensor fotoacústico adicional configurando el software manejando el dispositivo por una computadora personal o Laptop
Quartz-enhanced photoacoustic spectroscopy	Se constituye un aparato y sus métodos que permiten medir una muestra de fluido con la técnica fotoacústica mediante la acumulación de señales en un detector acústico. La generación de la onda acústica es a través de un elemento sensible diferente a la muestra a estudiar	El dispositivo presentado utiliza fuente de excitación LED de alta intensidad en cuatro o más rangos de longitud de onda y no fuente laser. No se emplea un modo de resonancia para la detección acústica ni módulos externos fuera del dispositivo para la excitación, control y captura de señales fuera del mismo dispositivo en conjunto con una computadora personal o Laptop. La generación de la señal emplea el principio fundamental de la generación de la señal donde el mismo agente a evaluar es el medio que da la pauta para la generación de la señal además es posible la configuración de dos implementaciones una en forma de generación como la anteriormente descrita, y la otra como modo de transmisión cuando se desean investigar líquidas ópticamente transparentes.

Method and means for analyzing substances	El dispositivo y método descrito emplea una fuente de energía de magnitud variable que viene dada por un dispositivo monocromador y un modulador electromecánico donde la luz proviene de una fuente de luz de amplio espectro o una fuente de energía monocromática, e irradia a una sustancia que se prueba, y en una cantidad suficiente para producir variaciones detectables en un fluido circundante al entorno de la muestra, respondiendo a las variaciones detectables, produciendo señales eléctricas correspondientes a las variaciones detectadas. Una pantalla indica la intensidad de las señales eléctricas a las diferentes frecuencias de energía.	Se emplean fuentes no monocromáticas con modulación mediante control digital haciendo variar la frecuencia de modulación como función de los diferentes rangos de longitud de onda de las diferentes fuentes LED de alta intensidad con una representación de frecuencias de 1 Hz en adelante. La referencia de la señal se genera a partir de la captura de la señal eléctrica de control como referencia interna eléctrica del dispositivo donde por medio del software de control y procesamiento de la señal se genera una señal de referencia digital, todo el conjunto de elementos necesarios para la obtención de la señales fotoacústicas se encuentran embebidas en un dispositivo único, acompañado por una computadora en la cual solo se necesita insertar la muestra y configurar el software para obtener la respuesta del elemento de estudio respecto de la longitud de onda incidente y la frecuencias de modulación a elegir.
Photoacoustic spectrometer for solid and liquid Samples - has connected gas-filled reference and sample chambers	Se refiere a un espectrómetro fotoacústico con una fuente de luz de rango definido interrumpido periódicamente, implementado mediante una cámara de referencia	Se implementa un dispositivo completo para la medición de la señal fotoacústica por medio de radiación de luz LED de alta intensidad en diferentes configuraciones de rango del espectro que incluye fuentes de radiación, control de modulación y potencia captura y procesamiento de señales ya que es un sistema integrado para ser conectado a una computadora por medio de conexión universal USB con la posibilidad de observar dicha información por medio de un software de control y captura de datos, donde se pone a disposición el módulo de captura de la señal Fotoacústica.
Photoacoustic Chemical Detector	La invención se refiere a un detector químico fotoacústico para la detección de uno o más agentes químicos. La fuente de luz es un láser de salida Fabry-Perot que se codifica mediante el control de la corriente de accionamiento, la unidad de tensión y/o la temperatura de funcionamiento con el fin de producir una emisión multimodo. La señal fotoacústica es la convolución de la codificación de frecuencia programada de la fuente de luz con el espectro de absorción de la muestra.	El dispositivo propuesto emplea fuentes de radiación LED de alta intensidad que no son moduladas de manera mecánica o electromecánica y no se utiliza fuente laser ni algún tipo de interferómetro Fry-Perot para la generación de la señal fotoacústica el dispositivo se encuentra ensamblado en un módulo único que incluye fuentes de alimentación, control y selección de fuentes de radiación LED captura de señales control de modulación para que únicamente sea insertada en un depósito contenedor de vidrio de borosilicato, o sobre el complemento de celda para modo de transmisión que es a base de una lámina de metal delgada del orden de 100 micro metros y que se pueden implementar en diferentes configuraciones de altura para la muestra líquida .
Photoacoustic measurement device	Dispositivo de medición para obtención de imágenes fotoacústicas que emplea la técnica fotoacústica en conjunto con la técnica de obtención de imágenes por ultrasonido	El dispositivo propuesto obtiene la señal fotoacústica como función de la frecuencia para la asimilación del comportamiento de ella vs la penetración de la energía irradiada en un módulo único que incluye los elementos necesarios para la captura de la señal fotoacústica como función de los rangos de longitud de cada dispositivo LED de alta intensidad elegido a emplearse, compuesto por etapas de control de potencia, modulación de las fuentes de radiación, control y selección de los dispositivos de irradiación, captura de señales analógicas, red de alimentación y conexión para una salida USB, software para el procesamiento digital de las señales.
Laser photoacoustic detector for liquid chromatography	Se trata de un detector fotoacústico constituido por un láser, para convertir la radiación láser a señal acústica formada en un medio capilar con elementos que transmiten la luz láser, con un transductor piezoeléctrico.	Se desarrolló un dispositivo modular constituido por una fuente de excitación en base a LED de alta intensidad que mediante controles de potencia excitan a la muestra de estudio como función de la frecuencia de modulación incidente además de la longitud de onda de cada rango de los LED para comparar el comportamiento de absorción de la muestra de estudio
Photoacoustic device for rapidly detecting additives in liquid food	El sistema está constituido por una unidad láser, unas membranas, un filtro, una lentes de enfoque y colimación, un contenedor de muestra de ensayo para la celda de muestra y la celda que constituye el soporte; una sonda de ultrasonido, una unidad de procesamiento de señal con amplificador de pre-tensión, un osciloscopio digital, tarjeta GPIB-USB/ S y una computadora personal. Son implementadas para su funcionamiento.	El dispositivo propuesto está constituido por una unidad embebida por componentes que reemplazan y homologan tareas realizadas por dispositivos como el amplificador lock-in y la unidad del osciloscopio por medio de tarjetas de audio dedicadas a la captura de señales eléctricas producidas por los transductores empleados realizándose la tarea de procesamiento digital y analógico mediante la combinación del tratamiento de las señales digitales en base a la combinación del software y hardware, contando con fuentes de luz LED de alta intensidad como generadores de la excitación en las muestras de estudio
Laser based photoacoustic	El sistema se refiere a un sensor fotoacústico basado en láser para la detección de trazas y	El sistema propuesto se diferencia en que puede ser empleado en líquidos y no estando limitado a ello sino también elementos sólidos,

c sensor and method for trace detection and diferentiation of admospheric NO and NO2	diferenciación de NO y NO ₂ en medio atmosférico, emplea un láser sintonizable para la medición y la diferenciación de las concentraciones atmosféricas de óxido nítrico de forma continua (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂).	donde también puede ser utilizado en líquidos inflamables y/ o corrosivos todo lo anterior mediante un dispositivo único que no emplea módulos externos, utilizando LED's de alta intensidad como medios de radiación sobre el conjunto de los medios de control, modulación y captura de las señales. Sistema que se encuentran embebido en el dispositivo trabajando en conjunto con una unidad de computadora personal o laptop.
Adicional Low-cost, portable photoacoustic setup for solid samples	El instrumento se refiere a un sistema fotoacústico basado en la captura de la señal a través de una computadora personal donde la señal es adquirida por la tarjeta de audio incorporada a la propia pc, con la excitación de LED o diodo laser.	El sistema propuesto se diferencia en que la capturada y generación de audio es independiente de la computadora personal utilizada, se pueden utilizar muestras liquidas como material de estudio, utiliza múltiples fuentes de luz LED seleccionable, con la capacidad de poder extender el número de sensores y celdas a utilizar, cuenta con aislamiento mecánico y térmico para dar mayor separación con el ambiente al sistema

3.3.3.2 Objetivo

Realizar el diseño y construcción de un sistema fotoacústico multiled portátil de muestras mediante fuentes de luz: LED (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad. Implementando una celda fotoacústica, en el que se depositan en un contenedor las muestras liquidas, modulando la luz proveniente de los LED y haciéndola incidir sobre la muestra para generar el efecto fotoacústico donde, la señal es capturada y procesada por un sistema informático.

3.3.3.3 Materiales y métodos

3.3.3.3.1 Materiales:

Sistema multiled portátil, osciloscopio 70Mhz UTD2072CEX, generador de señales UTG9005C 5Mhz, multímetro UT139C RMS, software Soundcard scope 1.46, software de control y procesamiento desarrollado para el sistema en la plataforma MATLAB 2015b, impresora delta 3D; software de diseño Autodesk Inventor 2018, software Repetier Host, filamentos de impresión de plástico PLA y plástico ABS, dispositivos electrónicos en general, junto con diversa herramienta manual.

3.3.3.2 Constitución de la actividad de investigación propuesta

se planteó el objetivo de poder generar piezas que constituyen a la celda fotoacustica en material a base de impresión 3D por adición con extrusión de filamento, para propósito de poder desarrollar dinamismo en la construcción y la posible mejora de la fabricación del sistema desarrollado.

Primeramente se fomentó la utilización de un rediseño para el caso de la parte óptica del prototipo FA, para los cual se optó por reducir el foco de dispersión de la luz para poder hacer

coincidir aproximadamente el diámetro de radiación con el diámetro expuesto por el contenedor interno de la muestra líquida por lo que se realizaron, pruebas con diferentes tipos de lentes focalizadores como se aprecia en la Figura 3.21 como segundo lente posterior al lente de focalización primario de los LED, variando el tipo de lente y su distancia, finalmente obtenida la máxima optimización con los lentes con los cuales se trabajó se procedió al diseño en CAD del contenedor de los lentes de focalización por medio de la integración de impresión 3D por filamento en material PLA y filamento de plástico ABS.

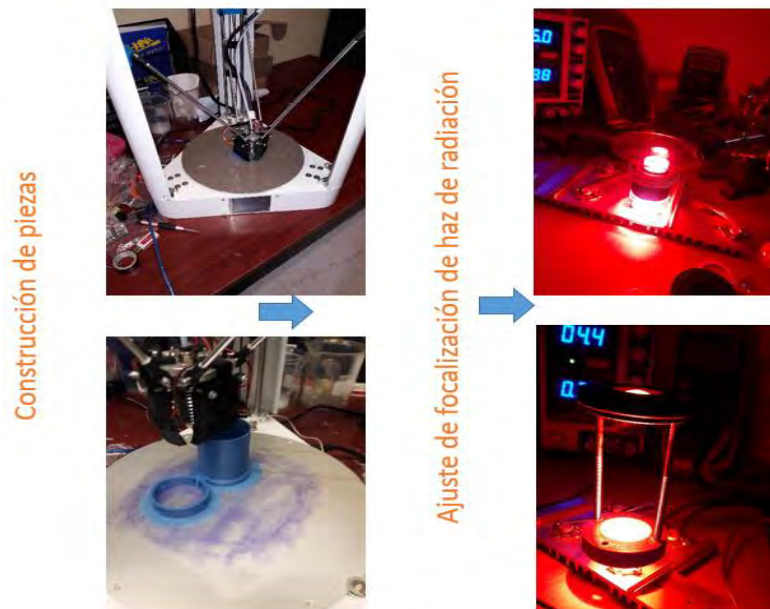


Figura 3.21. Prueba de lentes y fabricación de soporte por impresión 3D.

Para poder realizar el diseño de la impresión se tomaron en cuenta los siguientes factores al momento del diseño, son: resistencia a la temperatura con una prueba con los diferentes LED utilizados en el prototipo, de manera externa se realizó la conexión, con los parámetros de excitación voltaje y corriente eléctrica equivalentes a los otorgados por el prototipo para cada uno de ellos, en donde por entre tres a cuatro horas se dejó activado cada luz y al finalizar ese tiempo se medía la temperatura al tacto para determinar si se tenía un cambio apreciable respecto de los materiales y las piezas utilizadas, resistencia mecánica rapidez de implementación, pudiendo implementar esta primera pieza en este concepto realizándole un par de pruebas como si aumentaba su temperatura con los dispositivos LED utilizados en el

prototipo, resistencia mecánica con la incrustación de tornillos, adición de capas protectoras, como esmaltes en las cuales paso satisfactoriamente los requerimientos

Se optó principalmente por construir la parte inferior de la celda fotoacustica del prototipo en material de impresión de plástico para la parte inferior del rediseño de la celda fotoacustica; debido a que podría involucrarse algún tipo de interferencia ya sea por el tipo de material plástico, su estructura interna o algún otro factor que se pudiera involucrar; en la cual la parte inferior como está cubierto por el contenedor de la muestra, circunstancialmente tiene menor contacto con la superficie interna de la celda, por lo que se optó por hacer modificaciones externas e internas que pudieran coadyuvar en el mejor funcionamiento de la celda, como fue la incorporación de una ventana para el paso de la luz que no se irradia en la muestra, en general el proceso de incorporación de cada pieza realizada por el método mencionado corresponde a la Figura 3.22, adicionalmente se tiene en cuenta que la impresión y el maquinado por sí mismo no es suficiente con realizar una sola pieza de muestra y que se incorpore directamente al sistema, y es por eso que se optó por el método descrito en esta actividad.

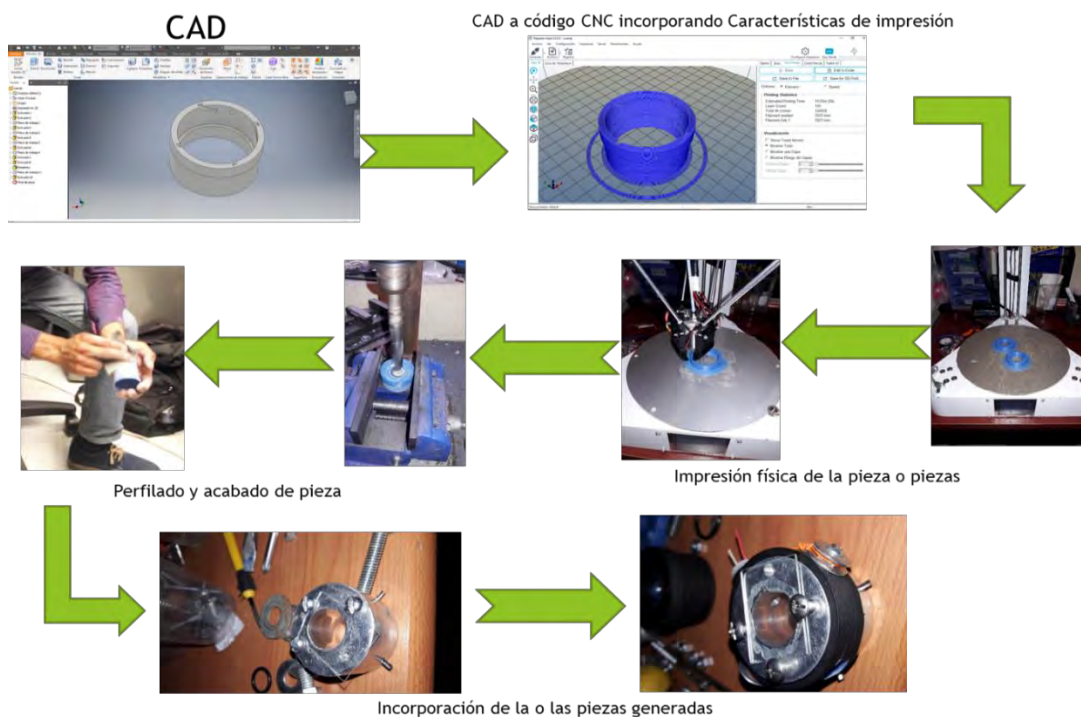


Figura 3.22. Proceso de implementación de maquinado de celda por impresión 3D.

Se realizaron una serie de múltiples impresiones de las mismas piezas para ir mejorando de manera continua partiendo de la pieza semilla hasta lograr incorporar una pieza que resultara viable para su utilización., como lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 3.22, se parte de una idea de mejora, se diseña en el software de asistencia por computadora por medio de CAD se realizan los ajustes pertinentes para el traslado e interpretación correcta por parte de la impresora 3D, configurado parámetros como temperatura densidad, velocidad, soportes entre otros, se termina de maquilar de forma manual ya que la impresión surge con pequeños detalles de fabricación, propios del material y la impresora, se mota la nueva pieza para su ajuste y evaluación de su desempeño, con respecto de la parte que se sustituye, finalmente este ciclo se repite las veces que sea necesaria hasta alcanzar un comportamiento aceptable o pronosticado como mejora.

Para poder comprobar la efectividad de la incorporación de piezas por impresión 3D adicional a las mejoras circunstanciales de una celda nueva construida se optó por realizar una medición en tres parámetros distintos, una con la celda con muestra líquida en este caso haciendo una similitud con respecto del montaje experimental 1 siendo de igual manera una muestra de aceite, que puede considerarse ópticamente opaca, así mismo con otra prueba con el contenedor vacío y finalmente sin la incorporación de la tapa inferior en cada una evaluando el comportamiento del prototipo por medio de un corrimiento de frecuencias de 1 a 200 Hz en los cuatro colores rojo, amarillo, verde, y azul (longitudes de onda, que incorpora el prototipo), la incorporación de las piezas y la implementación de la prueba experimental se aprecian en la Figura 3.23 donde se colocan e incorporan las nuevas piezas ya seleccionadas se calibran los parámetros para la toma de muestras, como la ganancia de amplitud, interna, la mejor posición del contenedor y las potencias mejor ajustadas para dar un mayor rendimiento de o los distintos dispositivos LED, esto mediante la toma continua de las señales capturadas por el transductor, en este caso micrófono y que son amplificadas y capturadas para su visualización e interpretación por el osciloscopio virtual mediante el software Soundcard Scope, así como el dispositivo físico que es el osciloscopio, con la cual se obtuvieron los siguientes resultados.



Figura 3.23. Incorporaciones de piezas y puesta en marcha del prototipo modificado.

Para la prueba de adquisición de muestra de la señal se optó por tomar de referencia el aire del medio ambiente, para observar que perturbaciones se presentaban y como lo descrito desde la primera implementación determinar cuál de las salidas de amplitud de la señal fotoacústica generadas por el programa de cómputo tiene mejor desempeño o cual menor inmunidad a ruido al igual que determinar a partir de que frecuencia aproximada se comienza a percibir una degeneración de las respuestas por parte del sistema

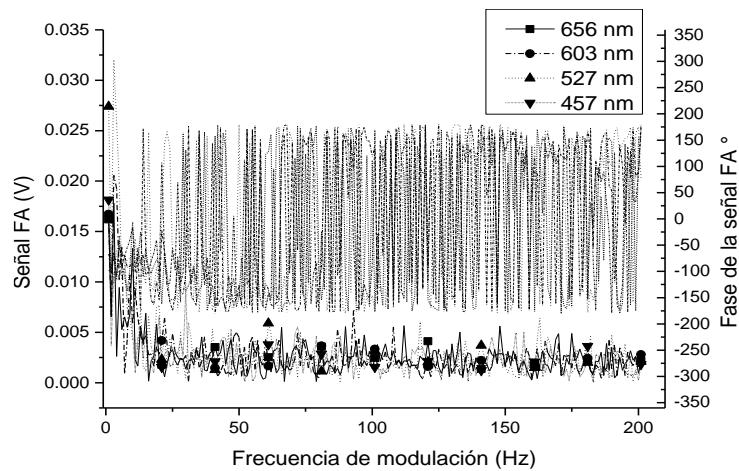


Figura 3.24. Señales de amplitud y fase con el contenedor sin complemento inferior.

Para este caso la Figura 3.24 muestra las señales FA sin ningún tipo de respuesta hacia la excitación por parte de las fuentes de radiación LED, que al no estar en un ambiente aislado de ruido la celda se aprecian señales y ruido característico de la propia técnica y el modo de

captura, respetando esta cualidad tanto para la señal FA en amplitud como en fase sobre todo en las frecuencias más bajas capaz de capturar ya que se aprecia por debajo de los 10 Hz una contribución abundante por parte del propio sistema hacia la ganancia de las señales y como las procesa, y por encima de ella ya es coherente con la exposición de la pre amplificación por parte del sistema, como se puede observar además por parte de la fase que no es coherente ni presenta un patrón definido y por tanto seda la interpretación que la celda no está cerrada ya que tendría un comportamiento estable hacia cualquier tipo de tendencia de la forma de la señal.

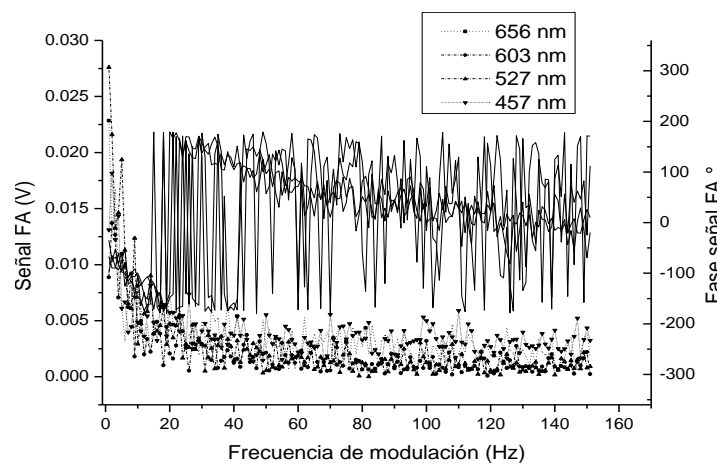


Figura 3.25. Señales de amplitud y fase con el contenedor vacío y celda cerrada

La Figura 3.25, muestra el comportamiento del sistemas a la acción de un estado hermético de la celda, es decir sin ruido externo pero si de la acción de la cuba contenedora y del aire interno, que permanece encapsulado adentro, mostrando que existe una posible interacción entre la luz radiante de los LED y el contenido interno de aire, en los puntos donde se encuentra picos ruido generado de manera externa de forma mecánica, golpeando el dispositivo, para poder identificar las sensibilidades y los estímulos que puede soportar el sistema, percibiéndose coherente con lo esperado y en comparación con los montajes tradicionales, entrando en concordancia con ellos. En este caso se percibe de acuerdo a la fase presentada para todos los dispositivos de radicación, una tendencia hacia la estabilización, se interpreta que no hay ningún elemento fuera del aire contenido en la celda que genere el efecto fotoacústico, portante es coherente las señales dispersas a lo largo del

barrido de frecuencias de radiación en la celda con las amplitudes y fases interpretadas y expuestas por el sistema.

Para el tercer caso se manejó una muestra de aceite de automóvil, con la intención que tuviera la mayor absorción este fue integrada a partir del desecho de aceite es decir el llamado aceite quemado, el que ya se utilizó, en una investigación anterior, aceite SAE 20-50 para automóvil de lo cual se obtuvo como se muestra en la Figura 3.26 que hay una diferencia en la calidad de las curvas generadas, percepción de ruido mínima y mostrando diferencia entre intensidades de absorción circunstancialmente mayor más del doble de intensidad entre la respuesta a la radiación en longitud de onda azul (656 nm), respecto del más cercano, que es en el rango de longitud de onda verde (537 nm), y con respecto a la banda roja más de 5 veces la intensidad de respuesta percibida por el sistema.

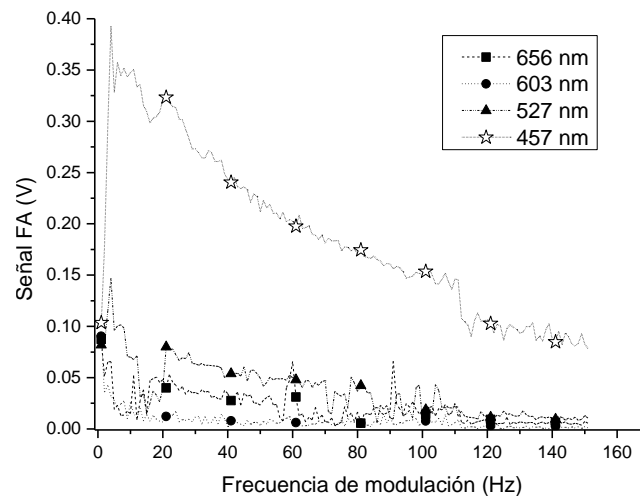


Figura 3.2.6. Señal FA de muestra de aceite.

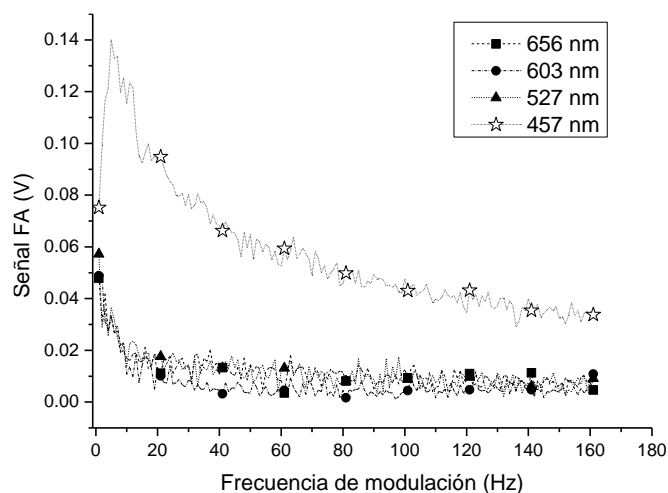


Figura 3.27. Señal FA de muestra de aceite diluido

Finalmente para la última comparativa la Figura 3.27 muestra el comportamiento que se tiene que al diluir la primera muestra compuesta por aceite quemado, al ser combinado con aceite nuevo sin usar se pudo observar un cambio en el nivel de las señales registradas por el equipo notando de primera forma que al hacerse el aceite más ópticamente más transparente la señal cae a un punto de un detección que puede ser indetectable, cuando pasa de un cierto nivel de tonalidad marrón claro.

Al realizar las modificaciones al prototipo mediante la implementación de impresión 3D, en la cual una vez tenido la experiencia de fabricación, se tuvo en cuenta que es posible realizar las piezas de manera eficiente, en este caso para la realización de mejoras del prototipo, pudiendo observar en las gráficas, con un comportamiento coherente respecto a las curvas de amplitud vs frecuencia y fase respecto de la cantidad de energía absorbida en este caso por un material oscuro y denso, ópticamente opaco y térmicamente grueso según las disposiciones de los tipos de material para las técnicas ópticas, todo esto obtenido mediante las mejoras en la estructura, incorporación y manejo de la celda, y del sistema en general.

Sin embargo el propósito de la utilización del sistema fotoacústico portátil es en el estudio amplio de líquidos y que no se pueden cubrir como para generar una señal fotoacústica detectable por el sistema actual, como lo son en tal caso líquidos transparentes y que son una importante fuente de investigación ya sean de carácter orgánico o sintético.



Figura 3.28. Sistema FA etapa de rediseño y modificaciones

Es por ello que se dio a la tarea de realizar un complemento adicional además de realizar las modificaciones de consolidación de los complementos inferiores de las tapas para los depósito de muestras líquidas, en donde para poder realizar el estudio en líquidos diversos, se realizó la fabricación del complemento de depósito A* que funciona bajo el principio de celda abierta, es decir el elemento que se utiliza mediante el efecto fotoacústico es el material de soporte donde el elemento de investigación bajo sus propiedades ópticas y térmicas modifica la absorción por parte del material de soporte además de realizar el complemento B* que continúa para su utilización tanto de materiales sólidos como en polvo, como para su utilización en líquidos al ser depositados dentro de la cuba de sostén de vidrio de borosilicato, que se insertan en la componente superior de la celda correspondiente a la pieza C* de la Figura 3.28, asimismo se realizó el procedimiento de adición del elemento de radiación violeta a 414 nm sustituyendo al dispositivo LED de 603 nm ya que este último resulta ser de utilidad mínima ya que su capacidad de excitación no era suficientemente significativa como para continuar con su uso; seguido de la caracterización interna del dispositivo transductor en este caso el micrófono para su evaluación y evitar características no deseables, como por ejemplo, cómo influye el comportamiento del sistema de pre-amplificación donde

esto se añadió al software de control y procesamiento de señales del sistema. además una de las posibilidades que abarco el trabajo de realización de las mejoras que potencializan a partir del rediseño y creación de nuevas piezas para el sistema FA portátil, todo lo anterior mente mencionado tuvo la intención de cumplir con los requerimientos que solicita el IMPI para poder evaluar todo el trabajo realizado y así poder gestionar una solicitud de patente fueron realizados todos los documentos necesarios para presentar dicha solicitud los cuales incluyen las características de actividad inventiva, novedad y aplicación industrial. Una vez realizada la confrontación de posibles coincidencias dentro de las partes internas que constituyen una patente se procedió a realizar documentos básicos, comenzando por la descripción las reivindicaciones, resumen de la invención, dibujos técnicos, diagramas de flujo de secuencias, diagramas eléctricos y electrónicas junto a su forma de utilización.

Todos estos apartados y el documento amplio de la solicitud se encuentran como anexo, dentro de este documento.

El proceso de obtención de las señales fotoacústicas para modo de excitación directo, que se desarrolló contempla los subprocesos que se evaluaron a lo largo de la fabricación y diseño del sistema, descrito en el la Figura 3.29 de la manera en que el diagrama describe los procesos que se generan en el sistema como así como su secuencia.

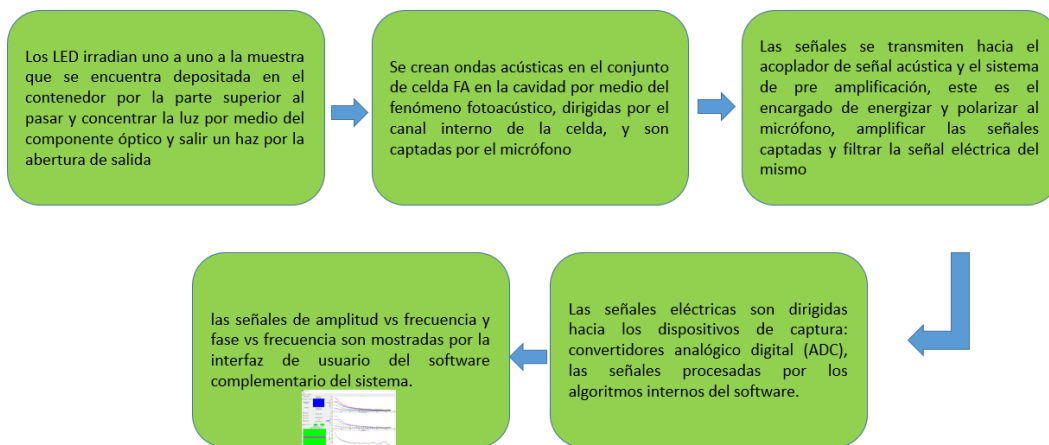


Figura 3.29. Proceso de obtención de las señales FA para modo de excitación directa

El proceso de obtención de las señales fotoacústicas para modo de transmisión que se describe en la Figura 3.30, contempla los siguientes subprocesos.

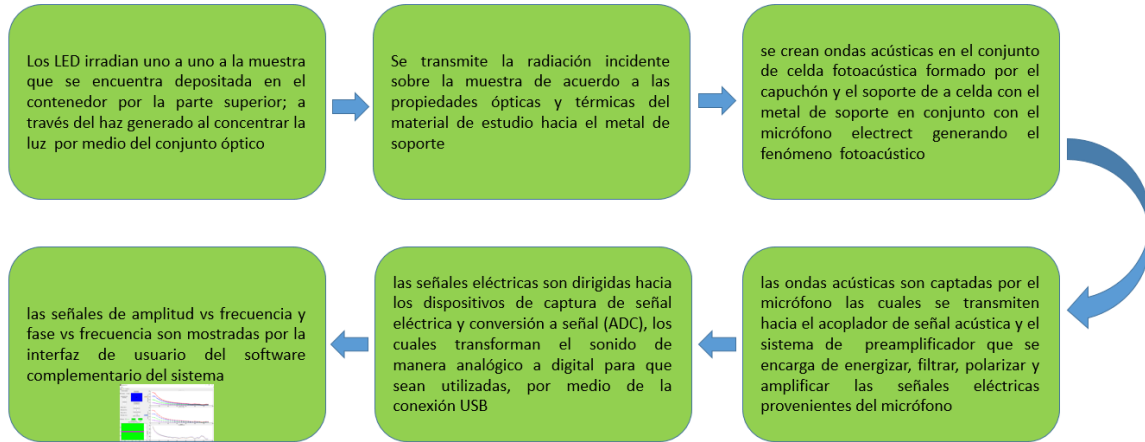


Figura 3.30. Proceso de obtención de las señales FA para modo de transmisión.

Para obtener la visualización de la señal fotoacústica y su fase como función de la frecuencia de modulación de la luz radiante en el rango de longitud correspondiente a cada LED; se realiza un procesamiento digital, descrito en los diagramas de flujo correspondiente a los anexos del documento de solicitud de patente, las señales capturadas siguen un proceso de control y ejecución de rutinas suministradas por la etapa de control el módulo de potencia y el módulo de referencia de señal en un proceso cibernético de comunicación entre el sistema y la computadora anfitriona del software, este procedimiento se complementa de manera física con los proceso de obtención de las señales de los diagramas correspondientes a las Figuras 3.29 y 3.30, en donde la ejecución de los sub-análisis de señales se ve desplegado como un proceso complementario a la evaluación general de las señales, descrita en los documentos anexos.

3.3.3.3 Resultados

Se realizó la invención que se muestra en la Figura 3.31; el cual se refiere a un sistema que realiza un proceso fotoacústico multiled de manera portátil para la obtención de la absorción y transmisión de luz en líquidos como función de la frecuencia de modulación de la excitación y la longitud de onda radiante incidente, basada en el efecto fotoacustico a partir de la generación y obtención de señal fotoacústica, esto mediante la interpretación de la intensidad y fase de la señales obtenidas, en una equivalencia de espectroscopia convencional con división monocromática de la luz; implementado como un sistema compacto y para uso

en análisis de líquidos diversa índole de manera directa, con base en las propiedades de absorción térmicas y ópticas de las muestras líquidas.

los componentes internos del sistema se pueden describir de manera general principalmente por un armazón metálico el cual comprende el área superior en donde se localizan; la unidad de captura de señal eléctrica y conversión a señales; un circuito de acoplamiento de señales acústicas y; un sistema de pre amplificación un par de micrófonos electret un mecanismo electromecánico de movimiento y selección de radiación, LED de radiación en longitudes de onda de 414, 457, 527, 656 nm; un mecanismo de movimiento vertical de los dispositivos de radiación; dispositivos de acoplamiento de señal de referencia de fase; una etapa de control electrónico; una etapa de circuitos de potencia, un soporte aislante para la celda FA, en la cual vienen acopladas las correspondientes partes que integran a la misma que son el conjunto óptico de radiación; el componente superior de la celda FA; un componente inferior de la celda FA para ocupar la celda FA en modo de transmisión; un componente inferior de la celda FA para modo de radiación y estimulación directo, los que tienen respectivamente subcomponentes que los constituyen y complementan y que se aprecian a detalle en los anexos del documento.

El sistema FA portátil tiene la posibilidad de ser transportado, conectado e implementado en cualquier espacio con condiciones climáticas no adversas, donde su uso es a través de un equipo de computadora personal o Laptop con conexión USB y que este cuente con la posibilidad de ejecutar el software complementario que se diseñó igualmente a la par del sistema físico cuya descripción del procedimiento interno de los algoritmos vienen descritos en la solicitud del documento de patente por medio de los diagramas de flujo descriptivos correspondientes a las funciones , subsunciones, y procedimientos realizados de manera interna.

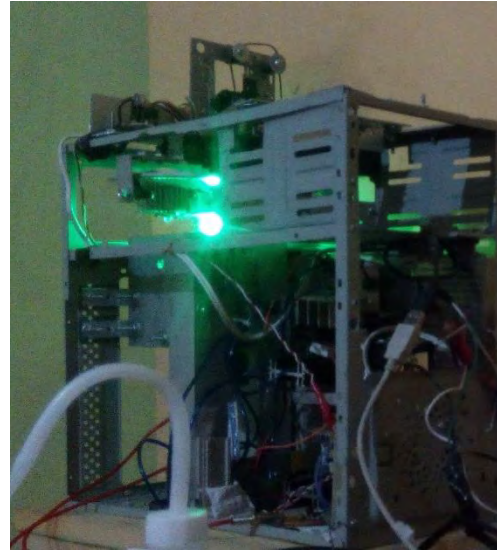
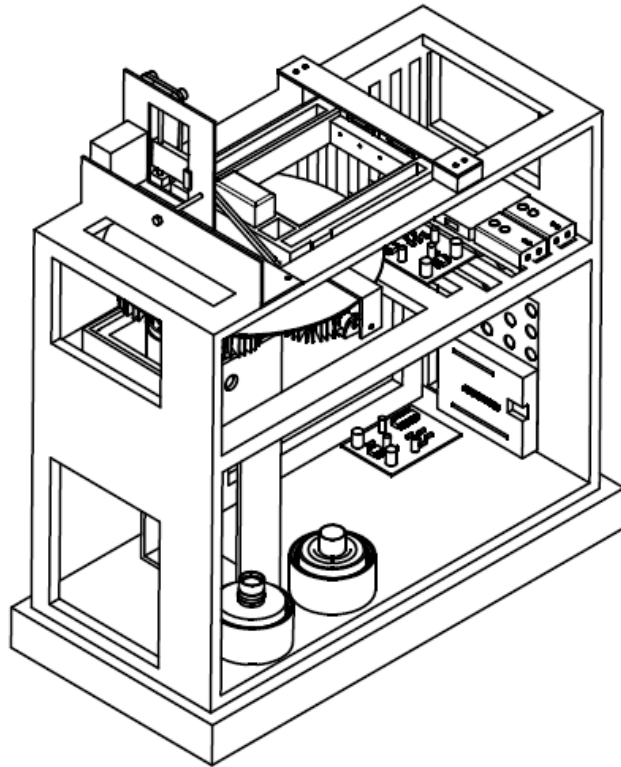


Figura 3.31. Sistema FA portátil

La interfaz gráfica de usuario que se observa en la Figura 3.32 es otro resultado, de la actividad, ya que se mejoró, rediseño y fue potencializados los algoritmos internos. Por medio de la cual el usuario configura y selecciona las posibilidades que permite el sistema, como lo son; la selección de las fuentes de radiación y las frecuencias de radiación; la interfaz muestran dos salidas de intensidad de señal basadas en el procesamiento digital de las señales para poder entregar una salida de intensidad de señal en función de la magnitud de potencia espectral y la siguiente salida de señal mostrada como la intensidad raíz cuadrática media o valor efectivo de la señal de corriente continua, en conjunto con la salida de la diferencia de fase entre la señal de referencia y la señal acústica generada por la muestra la cual se interpreta como el retraso de fase o el retardo de la generación de la respuesta después de haber sido irradiada con luz de forma modulada; la descripción a detalle se accede en los anexos del documento.

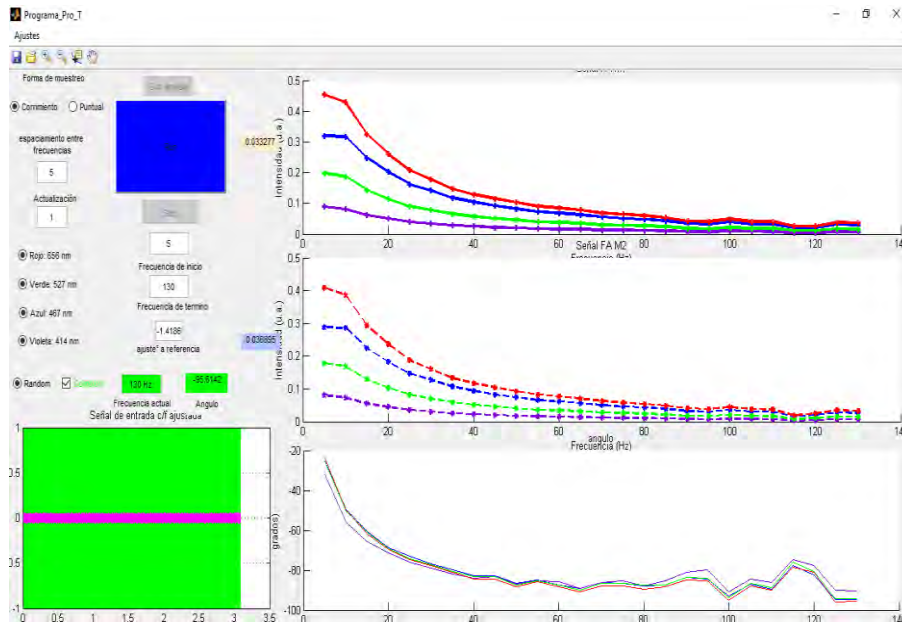


Figura 3.32. Interfaz gráfica de usuario del sistema FA portátil

3.3.4 Actividad de investigación 4: Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza

3.3.4.0 Resumen

La presente investigación se propuso con el fin de generar conocimiento relacionado a las posibles alternativas útiles para la industria cervecera, caracterizando distintos tipos de cerveza mediante métodos convencionales como espectroscopia UV-VIS e IR. Comparando los espectros encontrados con los obtenidos mediante, espectroscopia fotoacustica junto con la comparación con el sistema portátil con principio fotoacústico (FA). Las señales fotoacústicas fueron obtenidas en función de la frecuencia de modulación, para cada tipo de cervezas comerciales estilo Lager y Ale. Las señales encontradas fueron analizadas matemáticamente mediante métodos como: derivadas, convolución, y correlación, entre otros.

Hipótesis:

Es posible obtener similitudes en bandas particulares de los espectros UV-VIS y Espectro Infrarrojo con respecto a los espectros FA y señales FA que estén ligados a propiedades de cada estilo de cerveza

3.3.4.1 Introducción

La alimentación evoluciona con el tiempo y se ve influida por muchos factores e interacciones complejas. El nivel de ingresos, los precios de los alimentos, las preferencias individuales y tradiciones culturales, además de los factores geográficos, ambientales y socioeconómicos; todos estos factores configuran los hábitos individuales de alimentación (OMS, 2018).

Esto implica que los productos alimenticios en México y el mundo requieren cada día más la evaluación de la calidad; ya que esta repercute en la salud de las personas que los consumen, debido a que los alimentos pueden tener productos adicionales no deseados (Hernández *et al.*, 2018), ya sea porque se hayan añadido intencionalmente por razones tecnológicas o debido a la contaminación ambiental del aire, el agua o el suelo. Los productos no deseados presentes en los alimentos son un problema de salud en todo el mundo y son la principal causa de los obstáculos al comercio (OMS, 2018).

El comercio internacional de alimentos permite a los consumidores tener acceso a una gran cantidad de opciones de productos, y debido a las exigencias de los mercados, la calidad y la inocuidad son dos de los principales atributos que rigen la oferta y la demanda de los productos a nivel mundial. De acuerdo a la FAO (2013) “México cuenta con una amplia diversidad de climas y condiciones favorables para la producción primaria, lo que ha favorecido que sea un importante productor y proveedor de alimentos a nivel internacional. Por su ubicación estratégica, en el país se ha impulsado fuertemente el desarrollo y tecnificación del sector alimentario”.

De esta manera un factor de importancia es el mantenimiento de un nivel general de calidad de los alimentos. En donde el servicio de análisis de laboratorio forma parte integrante de todo sistema de control de los mismos. El laboratorio típico de control de alimentos dispone de servicios de análisis químicos y microbiológicos. Cada uno de estos sectores técnicos tiene diferentes necesidades y procedimientos para establecer y mantener un trabajo analítico de alta calidad (FAO, 1992).

En el caso de bebidas, estos productos han sido evaluados mediante distintas técnicas, dentro de las que destacan las espectroscópicas como la técnica UV-VIS. Esta técnica permite la identificación molecular de compuestos orgánicos e inorgánicos (FQ-UNAM, 2018); de las

cuales se puede describir en los siguientes ejemplos: el caso del análisis espectral de vino, para cuantificar polifenoles. Como lo reporta Martelo y Vázquez (2014), donde la técnica resulto factible para determinar compuestos polifenólicos individuales en vinos tintos de distintos tipos independientemente del origen geográfico. De igual manera como lo menciona García (1987) con la espectrometría UV-VIS pudo hacer la determinación de diacetilo en vinos y vinagres, y dado que este producto proviene de la fermentación siendo uno de los descriptores más conocidos en la elaboración de cerveza, determinando más concentración en vinos que en cervezas. Otro uso de la utilización de los espectros de absorción UV-VIS es en la investigación de tequilas embotellados comercialmente, y con la ayuda del análisis multivariado, se pueden identificar diferentes marcas de tequila blanco, además de poder discriminar tequilas mezclados al 100% con agave (Barbosa *et al.*, 2006).

Por otro lado, combinación de técnicas se han empleado, como la espectroscopia VIS/NIR las cuales comúnmente se utilizan en alimentos, bebidas, y en la industria de lácteos, para análisis *in situ* de forma no destructivas de los cultivos, materias primas, materiales en procesos, y productos terminados. Un ejemplo en el que se utilizó espectroscopia FT-IR fue para detectar fructosa y glucosa en procesos de fermentación según (Bellon *et al.*, 1994).

Otra investigación por espectroscopia de infrarrojo cercano fue en el análisis de muestras de vino derivados de la producción de alcohol, y su implementación en la destilación en búsqueda de metanol según (Damberg *et al.*, 2002) ofrece las ventajas de un análisis rápido, con una simple operación de rutina, y puede ofrecer el potencial para el control de procesos en línea en la operación de una instalación de destilación comercial.

Además, dentro de la investigación por IR, se tiene la obtención de espectros de mieles de abeja puras y las adulteradas por espectros de IR; en estos espectros los principales picos provienen de las moléculas de los diferentes azúcares de la miel de abeja, principalmente de la fructosa y glucosa, donde encontraron una diferenciación contundente entre los dos grupos de muestras según Mondragón y Ulloa (2011).

La técnica química que más se usa para determinar con certeza si una bebida alcohólica ha sido o no adulterada es la cromatografía, la cual consiste en la separación de los componentes del líquido para detectar el elemento ajeno a la fórmula original. Como por ejemplo con este

método se ha analizado la composición del tequila, que, de acuerdo con reportes científicos recientes, puede tener más de 200 componentes (CRT, 2018).

Además del caso de la utilización de la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) que es una de las técnicas de referencia absoluta. También surge el realce de la aplicación de métodos alternativos para reducir el tiempo de análisis característica de la HPLC. Existiendo métodos de cuantificación directa como los esquemas de detección fototérmico y fotoacústico que omiten la etapa de extracción; surgiendo una alternativa para cuantificar la concentración de carotenoides en algunos alimentos con precisión y rapidez (Bicanic, 2011).

Como se mencionó dentro de las técnicas no convencionales de caracterización se encuentran las técnicas fototérmicas. Las cuales se han empleado en distintos especímenes, como los reportados en componentes solubles de granos de café, empleando una de las técnicas fototérmicas y la más conocida y antigua de ellas (Hernández *et al.*, 2018): la técnica fotoacústica. Realizando la caracterización óptica y al comparar café puro en distintas condiciones, algunos autores obtuvieron que puede existir una fuerte contribución de ácidos clorogénicos. Al incrementarse el tiempo de tostado encontraron además que se van disminuyendo los picos de absorción correspondientes a estas sustancias, correlacionando tiempo de tostado con disminución de estos componentes (Reis *et al.*, 1986).

Así mismo se han investigado los cambios espectrales con la técnica fotoacústica en productos lácteos, como leche, queso y leche en polvo. Con diferentes tratamientos de secado a diferentes temperaturas (Martel *et al.*, 1987), encontraron la banda de absorción de la grasa que es observable entre 250 y 260 nm, además encontraron un pico de absorción en 280 nm, correspondiente a aminoácidos aromáticos (fenilalanina, triptófano y tirosina) que son medida del contenido de proteína; según esta investigación, la espectroscopia fotoacústica (EFA) se puede utilizar para estudiar productos lácteos que van desde frescos hasta leches condensadas comerciales, en la cual la concentración relativa de la proteína va en función de la intensidad en la señal fotoacústica en la banda de 280 nm modificándose de acuerdo al tratamiento de calor para el caso de la leche en polvo.

Otra investigación realizada por (Dóka *et al.*, 2004) demostraron que la espectroscopia fotoacústica en el rango de luz ultravioleta y visible es una herramienta adecuada para la

determinación directa del contenido fenólico total en harinas de sorgo rojo. Obteniendo picos característicos: centrados a 285 nm correspondientes aminoácidos aromáticos, además de un pico a 335 nm asociado al contenido fenólico total. Indican que comparando los resultados obtenidos con un método químico convencional como el Folin-Ciocalteau, arrojaron resultados sin diferencias.

3.3.4.1.1 Objetivo

Realizar la caracterización óptica de diferentes tipos de cerveza lager y Ale mediante: UV-VIS, IR y métodos alternativos como espectroscopia fotoacustica y sistema fotoacústico portátil.

3.3.4.1.2 Hipótesis: Los espectros obtenidos mediante las técnicas aplicadas permiten diferenciar los tipos de cerveza.

3.3.4.2 Materiales y Métodos

3.3.4.2.1 Material empleado

Se emplearon 7 diferentes marcas de cerveza que incluyen el estilo Lager y estilo Ale entre cervezas claras, oscuras, ámbar y artesanales, las cuales se muestran en la Tabla 3.3.4.1, donde se describen las características de cada tipo de cerveza evaluada: origen, presentación, estilo, tipo, color y grados de alcohol. Se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Obteniendo de esta manera, tres mediciones con cada una de las técnicas manejadas: UV-VIS, NIR y métodos alternativos como espectroscopia fotoacústica convencional y sistema fotoacústico portátil.

Tabla 3.3.4.1. Tipos de cervezas empleadas en la investigación (Elaboración propia, 2018).

No	Origen	Presentación	Estilo	Tipo	Color	% Alcohol
1	USA	355 ml	Ale	Belgian White Witbier	Blanco/amarillo	5.40%
2	México	335 ml	Lager	Viena	Oscuro	4.90%
3	México	355 ml	Lager	Pale lager	Dorado	4.50%
4	México	355 ml	Lager	Pale lager	Dorado	5.00%
5	Jalisco	355 ml	Ale	English Mild Ale	Ámbar	6.00%
6	México	355 ml	Lager	Dark Lager	Café	5.30%
7	México	355 ml	Ale	Oat Meal Stout	Oscuro	5.50%

3.3.4.2.2 Espectroscopia Fotoacústica (EFA)



Figura 3.33. Montaje de Espectroscopia Fotoacústica (EFA) en Cinvestav-campus C.d de México, (Elaboración propia, 2018).

La instrumentación de espectroscopia fotoacústica Figura 3.33 (ubicada en los laboratorios de técnicas fototérmicas del Cinvestav-campus Zacatenco), consistió de una lámpara de Xenón (Oriel), monocromador (Oriel), modulador electromecánico chopper ajustado a una frecuencia de 17 Hz, un cable de fibra óptica, celda fotoacústica (FA) configuración de celda cerrada, herméticamente cerrada con ventanas de cuarzo y grasa de vacío, como elemento sensor se usó un micrófono de electret, cuya señal fue amplificada mediante la conexión en serie de dos preamplificadores, un preamplificador de señal (Homemade) y un preamplificador de señal Stanford Reserch Systems, cuya señal de salida es capturada con un amplificador lock-in (SR-850 Stanford Research) para posteriormente ser monitoreada por medio de un software desarrollado en LabVIEW a través de una computadora.

Se obtuvo el espectro de absorción fotoacústico de cada muestra de cerveza en un rango de longitud de onda (λ) de 270 a 550 nm. La lámpara de Xenón se calibró a una potencia aproximada de 700 W. Los datos en amplitud y fase respecto de la longitud de onda incidente fueron registrados en la computadora. Para la colocación de las muestras y respectiva obtención de espectros FA se utilizó la celda FA en configuración en modo de transmisión. En la cual en su parte interior e inferior se colocó polvo de grafito y en su parte externa, sobre la ventana de cuarzo se colocó la muestra líquida a estudiar. Cada muestra se obtuvo de botellas comerciales bajo el siguiente procedimiento de obtención: se destaparon las botellas, se vació y desecharon una porción de cerveza, se depositó una porción en un vaso de precipitado limpio, para posteriormente ser agitada y liberar su espuma; una vez estabilizada y sin espuma, una cantidad de 0.3 ml de muestra líquida se depositó encima del cristal de cuarzo sobre el cual se hizo incidir la luz guiada por la fibra óptica. Este procedimiento se realizó para cada uno de los siete tipos de cerveza y los datos de amplitud y fase de la señal fotoacústica obtenida fueron guardados para su análisis.

3.3.4.2.3 Espectroscopia UV-VIS

La instrumentación para la obtención de espectroscopia de absorción UV-VIS consistió en un equipo de espectrofotometría modelo UV-2600 SHIMADZU, cuba de cuarzo de 10 mm, vasos de precipitados, agua destilada y un equipo de PC con el software UVProbe ver Figura 3.34.



Figura 3.34 Equipo de laboratorio de Espectroscopia UV-VIS (Elaboración propia, 2018).

La obtención de los espectros de absorción UV-VIS de las cervezas fue a partir del siguiente procedimiento: de cada botella una porción de cerveza, posteriormente se depositó una porción en un vaso de precipitado limpio, para ser agitada para liberar su espuma. Una vez estabilizada y sin espuma se tomó y se dejó reposar enseguida se depositó en la cuba de cuarzo una porción de la muestra hasta llenarla, y ser introducida en el equipo de espectrofotometría, limpiando la cuba de depósito con agua destilada, en cada nueva medición. Se realizó un barrido de longitud de onda (λ) desde los 185 hasta los 900 nm, los datos obtenidos de absorción respecto de la longitud de onda se guardaron para su posterior análisis; la instrumentación se aprecia en la Figura 3.34.

3.3.2.4 Espectroscopia Infrarroja

Se obtuvo el espectro de transmisión de siete cervezas en un rango de longitud de onda de 500 a 4000 nm, para la obtención de los espectros de transmisión se contó con un Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) modelo Nicolet 510P, para la adquisición de las muestras, se tomó una porción de líquido de cada una de las botellas de cerveza, la cual fue desechada; después, se realizó una nueva toma, para tornarla a ser depositada en un vaso de precipitados para ser agitada y poder liberar la espuma, posteriormente se dejó reposar. El líquido se depositó mediante una micro pipeta, sobre el detector del sistema de espectrofotometría IR; para cada cerveza se realizó el mismo procedimiento, el procesamiento y almacenamiento de los datos se realizó mediante el

software OMNIC. El sistema y su implementación se pueden observar en la Figura 3.35, los datos y graficas de salida se guardaron para su análisis posterior.



Figura 3.35. Equipo de laboratorio de Espectroscopia IR. (Elaboración propia, 2018)

3.3.2.5 Sistema Fotoacústico portátil (Homemade-Esime Zacatenco)

Empleando un sistema fotoacústico portátil FAP (Figura 3.36) se obtuvo la señal FA en función de la frecuencia de modulación a distintas longitudes de onda, de las cuales se tomaron frecuencias particulares de excitación para obtener el nivel de señal FA a la longitud de onda de la radiación incidente. El sistema FAP, cuenta con medios de radiación del tipo de dispositivos LED de alta intensidad, con picos de emisión respecto de la máxima amplitud en las longitudes de onda de 656, 527, 467 y 414 nm. Para la obtención de las señales FA las muestras de cerveza fueron desgasificadas, agitando en un vaso de precipitados cada muestra de la cerveza a estudiar; con el fin liberar el dióxido de carbono y crear espuma. Una vez estabilizada y sin espuma ni turbulencias se colocó en la celda del sistema una cantidad de 0.3 ml de líquido para posteriormente realizar un barrido en frecuencia de 10 a 500 Hz configurando la adquisición mediante el software control del sistema.

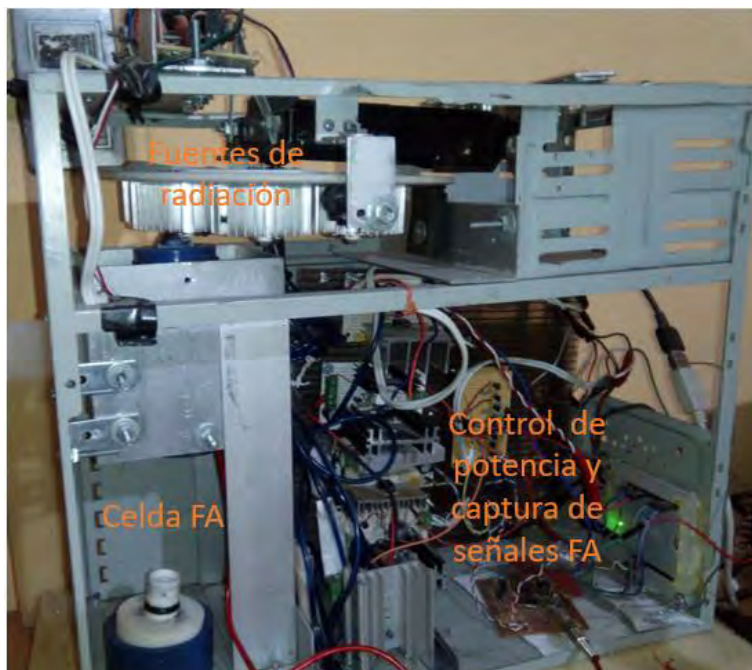


Figura 3.36. Sistema fotoacústico portátil (Elaboración propia, 2018)

3.3.2.6 Análisis matemático de las señales obtenidas

3.3.2.6.1 Análisis de varianza

El diseño experimental se realizó integrando siete tipos de cerveza de establecimientos comerciales de dos diferentes supermercados ubicados al norte y sur de la ciudad de México, observando si existe diferencia significativa en valores en determinadas longitudes de onda de los espectros de absorción UV-VIS y espectro de absorción FA mediante un análisis de varianza empleando el software SAS - Sistema avanzado de estadística (SAS para Windows Versión 9.0) con el diseño experimental por bloques completos al azar con 3 repeticiones. Para ver si existe diferencias entre las variables respuestas se utilizó comparaciones de medias LSD de Fisher ($\alpha=0.05$); para que los espectros de transmisión de señal FA puedan ser comparados y tener equivalencia en el comportamiento respecto de la longitud de onda. Los espectros obtenidos se convirtieron a espectros de absorción mediante la ley de Lambert-Beer a través de la relación $A = -\text{Log}_{10}(T)$. De igual manera; la significancia estadística de las correlaciones estimadas es presentada por un valor r_{xy} , las correlaciones entre cada variable que se realizaron son producto de Pearson.

3.3.4.2.6.2 Análisis de derivadas de las señales de Espectroscopia

La diferenciación de espectros de absorción presenta ventajas para la espectrometría en la zona ultravioleta-visible, ya que permite extraer información de espectros con bandas no resueltas. La espectroscopia o espectrofotometría por medio de derivadas es una herramienta empleada que permite incrementar dos aspectos básicos en las técnicas analíticas, la sensibilidad y la selectividad. Consiste en calcular la primera, segunda o derivadas de orden superior de la intensidad o absorbancia respecto a la longitud de onda (López y López, 1993). El análisis matemático por medio de la primera derivada, se realizó a través del programa Origin ver 8.6. Para el uso del programa Origin se analizó la señal fotoacústica, la señal de los espectros UV-VIS, considerando que las señales tendrían que tener el menos ruido posible, para eso adicionalmente se usó la herramienta de suavizado del programa Origin. Después de suavizar la señal se sometió las señales fotoacústicas y de Espectroscopia UV-VIS, a la primera derivada.

3.3.4.2.6.3 Convolución y correlación

El proceso de convolución de las señales se realizó una vez suavizada las señales resultantes de los espectros. Para lo cual se realizó una simulación de curva a través de la herramienta de fitting de Origin para generar funciones normales en base a la campana de gauss comparando de forma individual los espectros resultantes y ordenándolos en una sola muestra para poder distinguir su comportamiento.

Se realizó la prueba de Pearson en la que la significancia estadística de las correlaciones estimadas es presentada por un valor r_{xy} , las correlaciones entre cada variable que se realizaron son producto de Pearson y con un rango de estos coeficientes de -1 a +1. Para estimar el grado de correlación, en donde se indica el grado de correlación directa o inversa.

3.3.4.4 Resultados

3.3.3.4.1 Espectroscopia fotoacústica

El espectro de transmisión obtenido de los diferentes tipos de cerveza sometidos a la técnica de espectroscopia fotoacústica fueron trasladados por la ley de Lambert–Beer a la forma de espectros de absorción, estos mostraron diferencias a lo largo del rango de la longitud de onda analizada de 270 a 550 nm. Los espectros de absorción de todas las cervezas analizadas

mostraron diferencias en el rango de la longitud de onda probada y se observaron en un valor aproximado de 300-325 nm para todas las cervezas, una similitud en los comportamientos pico de las absorciones. Los espectros de absorción de los siete tipos de cervezas analizadas se observa en la Figura 3.37.

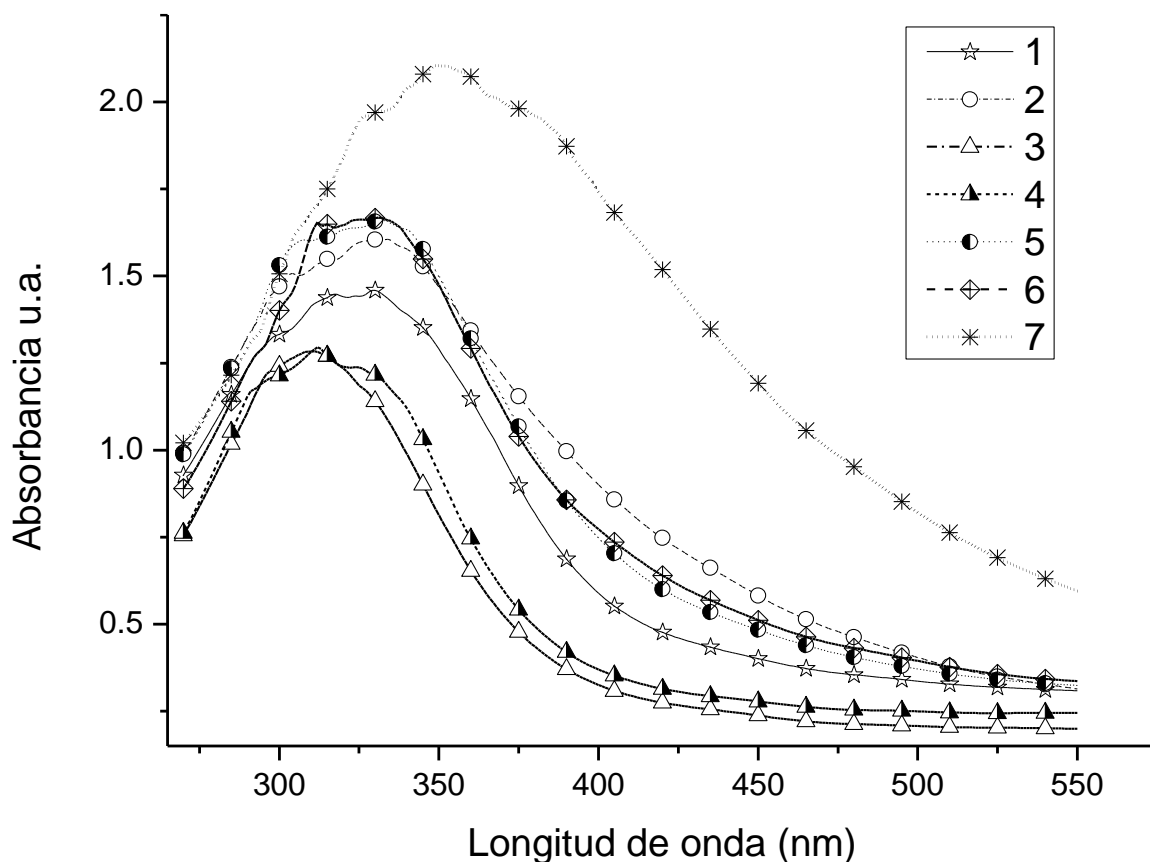


Figura 3.37. Espectro de absorción fotoacústico de siete distintos tipos de cervezas: 1). Ale (Belgian White), 2). Lager (Viena), 3). Lager (Pale lager), 4). Lager (Pale lager), 5) Ale (English mild), 6). Lager (dark lager) y 7). Ale (Oat Meal) - (Elaboración propia, 2018).

Para el análisis matemático, se seleccionaron bandas particulares desde los 270 a 550 nm con espacios de 20 nm entre tomas de valores, para realizarles los análisis estadísticos ANOVA y LSD, como lo muestra la Tabla 3.3.4.2, indicando los valores promedio, las agrupaciones, el coeficiente de variación, coeficiente de determinación y el nivel de significancia, para las

pruebas estadísticas realizadas. Con la variedad de cerveza respecto de la Tabla 3.3.4.1 como referencia Cerveza 1 (Belgian White Witbier), equivalente a C1; cerveza 2 (Viena), equivalente a C2; etc.

Tabla 3.3.4.2. Comparación de medias de absorción de la señal FA a diferentes longitudes de onda de siete distintos tipos de cervezas comercializadas en la Cd de México (Elaboración propia, 2018).

Variedades de cervezas	Longitudes de onda (λ , nm)								
	270	290	310	330	350	370	390	410	430
C1	0.928ba	1.235a	1.413ba	1.458bc	1.290b	0.981b	0.687cd	0.521cd	0.446cb
C2	0.991a	1.323a	1.518ba	1.604b	1.469b	1.214b	0.996b	0.818b	0.688b
C3	0.755b	1.108a	1.282b	1.140c	0.813c	0.527c	0.370e	0.294d	0.260c
C4	0.762b	1.151a	1.281b	1.216c	0.935c	0.599c	0.419ed	0.337d	0.298c
C5	0.987a	1.327a	1.601a	1.656ba	1.498b	1.149b	0.854cb	0.664cb	0.553b
C6	0.889ba	1.235a	1.619a	1.666ba	1.475b	1.117b	0.856cb	0.7012cb	0.589b
C7	1.020a	1.293a	1.684a	1.969a	2.104a	1.999a	1.872a	1.627a	1.403a
LSD	0.1897	0.235a	0.311	0.348	0.3184	0.2807	0.2831	0.2703	0.2494
Media	0.904	1.239	1.485	1.530	1.369	1.084	0.865	0.709	0.605
Significancia	0.0704	0.4778	0.0913	0.0051	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	11.784	10.683	11.769	12.781	13.068	14.551	18.386	21.426	23.142
R ²	0.629	0.401	0.607	0.780	0.898	0.935	0.937	0.929	0.918
Variedades de cerveza	450	470	490	510	530	550			
C1	0.400cbd	0.36cbd	0.345cbd	0.327cb	0.316b	0.308b			
C2	0.582b	0.49b	0.432b	0.378b	0.341b	0.313b			
C3	0.237d	0.217d	0.210d	0.204c	0.20b	0.199b			

C4	0.277cd	0.25cd	0.252cd	0.246cb	0.244b	0.244b
C5	0.483cb	0.42cb	0.386cb	0.357cb	0.336b	0.324b
C6	0.511b	0.45cb	0.413cb	0.377b	0.351b	0.336b
C7	1.192a	1.01a	0.885a	0.763a	0.669b	0.595a
LSD	0.2178	0.1937	0.1761	0.1634	0.1551	0.1486
Media	0.526	0.461	0.417	0.379	0.351	0.331
Significancia	<.0001	<.0001	0.0002	0.0005	0.0018	0.0055
C.V.	23.254	23.572	23.683	24.218	24.783	25.161
R ²	0.910	0.899	0.883	0.855	0.819	0.777

Mínima Diferencia Significativa (LSD), Coeficiente de Variación (C.V.), Coeficiente de determinación (R²)

Dentro de los resultados se tiene que existen diferencias significativas en todas las longitudes de onda respecto de su absorción para cada cerveza a excepción de los 290 nm donde presentan el mismo comportamiento de absorción; para el caso de los 330 nm existen tres grupos y combinaciones de los mismos, respecto de las longitudes de onda de 350 y 370 nm se ubican de la misma manera tres grupos, donde principalmente se ubican por su similitud física en color: rojizas y oscuras; los resultados de las longitudes de onda de 390, 410 y 430 nm existe una mayor separación de la cantidad de absorción respecto de cada una de las cervezas, exceptuando el grupo más definidos por las cervezas 3 y 4.

Las cervezas 3 y 4 (las cuales pertenecen al mismo tipo y estilo) presentaron un patrón de comportamiento equivalente, con picos de absorción alrededor de los 310-311 nm. Por lo que podrían corresponder a que contienen semejantes compuestos característicos, además su tonalidad (430 nm), sabor (275 nm) y aspectos nutricionales (600 nm) quedan superpuestos, estando relacionada a la cebada, el mosto y tipo de fermentación, así como cantidad de lúpulo y forma de elaboración de los productos. La cerveza que queda en un rango medio, la 1 (Belgian White Witbier), que ocupa entre el 30 y el 50% de trigo sin maltear (CM, 2017) tiene una curva definida en valores intermedios entre los conjunto de las cervezas 3, 4 y 5, 6 con un comportamiento y pico de absorción sobresaliente en los 330 nm y con un incremento de ancho de banda de la respuesta, las cervezas 2, 5 y 6 (Vienna / Lager, English Mild Ale /

Ale, Dark Lager / Lager) comparten similitudes en la respuesta del espectro FA, sobretodo un traslape entre las bandas desde los 340 a los 360 nm, respecto de la cerveza 7 Stout / Ale Oat Meal se observa una amplia distinción tanto en forma como en ancho del espectro sobre todo y posiblemente por sus componentes, al ser una cerveza de carácter artesanal, y con fuertes sabores aromas y color, pueden distinguirse picos altos, y ancho de banda de absorción más amplios asociados a su elaboración.

3.3.4.4.2 Espectroscopia UV-VIS

El espectro de absorción adquirido de los diferentes tipos de cerveza sometidos a la técnica de Espectroscopia UV-VIS, mostraron diferencias a lo largo del rango de la longitud de onda probada como se muestra en la Figura 3.38, donde ve representado el espectro de absorción desde los 185 a 900 nm.

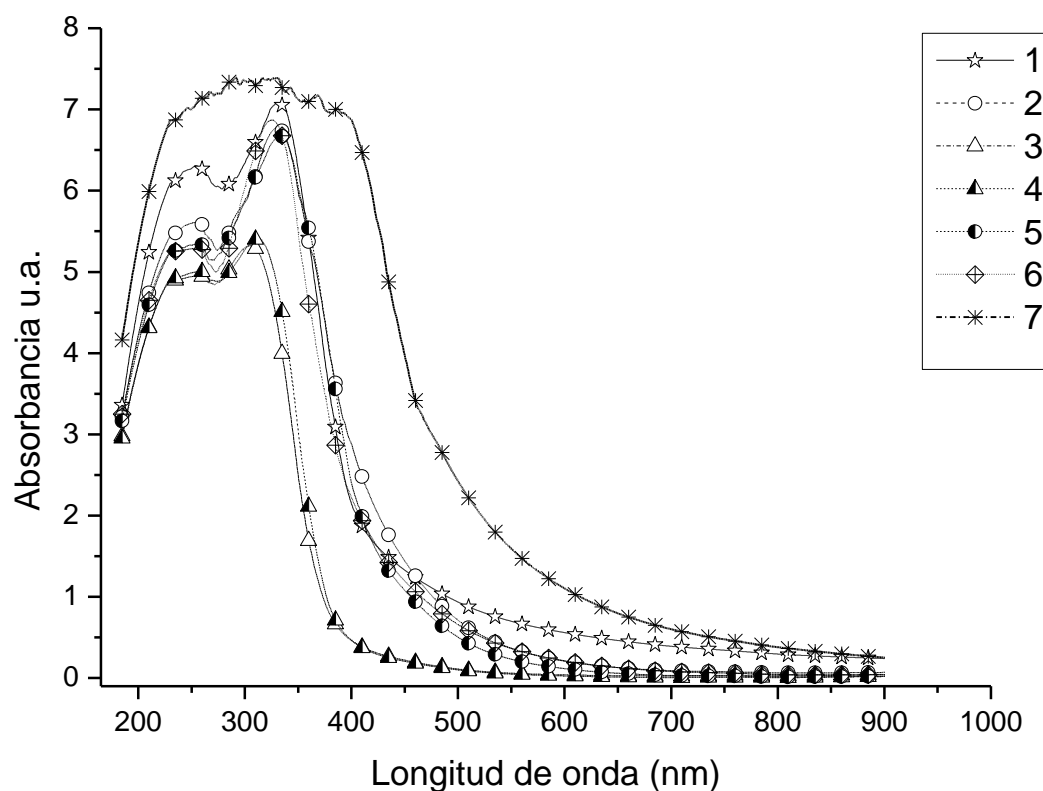


Figura 3.38. Espectro de absorción UV-VIS de cervezas tipo Lager y Ale (Elaboración propia, 2018)

Para el análisis matemático del rango de longitud de onda evaluado, se seleccionaron bandas particulares con espacios de 20 nm entre tomas de valores, para realizarles los análisis estadísticos ANOVA y LSD, como lo muestra la Tabla 3.3.4.3, determinando los valores promedio, las agrupaciones, el coeficiente de variación, coeficiente de determinación y el nivel de significancia, para las pruebas estadísticas realizadas. Con la variedad de cerveza respecto de la Tabla 3.3.4.1 como referencia: Cerveza 1 (Belgian White Witbier), equivalente a C1; cerveza 2 (Viena), equivalente a C2; etc.

Tabla 3.3.4.3 Comparación de medias de absorción UV-VIS a diferentes longitudes de onda: de siete distintos tipos de cervezas comercializadas en la Cd de México (Elaboración propia, 2018).

Variedades de cervezas	Longitudes de onda (λ , nm)								
	185	210	230	250	270	290	310	330	350
C1	3.357b	5.239b	6.090b	6.273b	6.081b	6.148b	6.596b	7.087ba	6.261b
C2	3.214b	4.740c	5.445c	5.600c	5.356c	5.663c	6.171b	6.778b	5.993cb
C3	2.979b	4.318d	4.906d	4.942e	4.854e	5.138d	5.288c	4.397c	2.502c
C4	2.954b	4.312d	4.921d	4.990e	4.897e	5.077d	5.400c	4.855c	3.055d
C5	3.165b	4.592c	5.240c	5.327d	5.151dc	5.568c	6.160b	6.660b	6.051b
C6	3.239b	4.685c	5.300c	5.320d	5.044de	5.587c	6.584b	6.953ba	5.563c
C7	4.163a	5.991a	6.868a	6.999a	7.187a	7.371a	7.294a	7.385a	7.120a
LSD	0.4152	0.229	0.2906	0.2636	0.2456	0.2587	0.443	0.582	0.479
Media	3.296	4.840	5.539	5.636	5.510	5.793	6.213	6.302	5.221
Significancia	0.0015**	.0001**	.0001**	.0001**	.0001**	.0001**	.0001**	.0001**	.0001**
C.V.	7.080	2.662	2.948	2.628	2.505	2.510	4.010	5.199	5.162
R ²	0.825	0.970	0.966	0.975	0.983	0.977	0.923	0.951	0.984

Longitudes de onda (λ , nm)									
Variedades de cervezas	370	390	410	430	450	470	490	510	530
C1	4.465c	2.698c	1.872b	1.543b	1.329b	1.153b	1.002b	0.877b	0.778b
C2	4.802b	3.317b	2.478b	1.885b	1.441b	1.093b	0.822b	0.619cb	0.473cb
C3	1.143f	0.579d	0.381c	0.283c	0.219c	0.169c	0.128c	0.096cd	0.074c
C4	1.378e	0.606d	0.372c	0.267c	0.205c	0.157c	0.117c	0.086d	0.064c
C5	4.853b	3.125b	1.990b	1.420b	1.078b	0.811b	0.592b	0.426cd	0.311c
C6	3.881d	2.623c	1.953b	1.527b	1.212b	0.964b	0.761b	0.600cb	0.475cb
C7	7.152a	6.9631a	6.470a	5.280a	3.977a	3.134a	2.651a	2.219a	1.871a
LSD	0.226	0.392	0.826	0.913	0.603	0.477	0.462	0.435	0.414
Media	3.953	2.844	2.217	1.744	1.352	1.069	0.867	0.703	0.578
Significancia	.0001**	.0001**							
C.V.	3.225	7.762	20.947	29.445	25.069	25.104	29.976	34.805	40.329
R ²	0.997	0.992	0.967	0.942	0.954	0.954	0.942	0.930	0.915

Longitudes de onda (λ , nm)									
Variedades de cervezas	550	575	600	625	650	675	700	725	750
C1	0.699b	0.621b	0.560b	0.507	0.462ba	0.424ba	0.391ba	0.365ba	0.343ba
C2	0.366cb	0.273cb	0.2085cb	0.162cb	0.129bc	0.106bc	0.090bc	0.082bc	0.077bc
C3	0.059c	0.047c	0.039b	0.033c	0.029c	0.027c	0.025c	0.028c	0.031bc

C4	0.049c	0.035c	0.026c	0.019c	0.013c	0.009c	0.006bc	0.008c	0.011c
C5	0.231c	0.163c	0.115c	0.082c	0.059c	0.042c	0.031c	0.027c	0.025bc
C6	0.379cb	0.292cb	0.228c	0.18cb	0.144	0.117bc	0.097bc	0.085bc	0.077bc
C7	1.590a	1.315a	1.102a	0.932a	0.7966	0.68a	0.600a	0.532a	0.476a
LSD	0.3984	0.381	0.368	0.356	0.3478	0.340	0.335	0.330a	0.3272
Media	0.578	0.482	0.325	0.273	0.233	0.202	0.177	0.035	0.148
Significancia	.0001**	.0001**	.0001*	.0001**	.0048**	0.010*	0.020*	0.16ns	0.057ns
C.V.	40.329	46.419	63.48	73.181	83.67	94.760	106.03	115.145	123.464
R²	0.9156	0.8980	0.845	0.815	0.782	0.748	0.713	0.678	0.645

Longitudes de onda (λ , nm)

Variedades de cervezas	775	800	850	900
C1	0.319ba	0.295ba	0.264a	0.24a
C2	0.076b	0.064ba	0.064a	0.07a
C3	0.030b	0.027b	0.034a	0.042
C4	0.009b	0.006b	0.011a	0.01a
C5	0.020b	0.015b	0.017a	0.02a
C6	0.068b	0.058ba	0.055a	0.05a
C7	0.425a	0.379a	0.310a	0.25a
LSD	0.324	0.321a	0.316	0.312
Media	0.135	0.121	0.108	0.101
Significancia	0.086ns	0.121ns	0.213ns	0.175ns
C.V.	134.239	148.91	164.10	173.7

R ²	0.611	0.581	0.521	0.463
----------------	-------	-------	-------	-------

Mínima Diferencia Significativa (LSD), Coeficiente de Variación (C.V.), Coeficiente de determinación (R²)

Como lo muestra la Tabla 3.3.4.3 de análisis estadístico, a 270 nm existen semejanzas en el comportamiento de las absorciones en especial en las banda cercana a los picos de absorción de 275 nm correspondiente a componentes de ácidos alfa que le dan el sentido del amargor a la cerveza, y a aproximadamente a los 330 nm (donde se encuentran picos predominantes para todas las cerveza y que se relaciona con el contenido de polifenoles que de igual manera le otorgan a la cerveza parte del amargor, color y estabilidad (MEBAK, 2012). Así mismo de manera estandarizada se emplea la banda de 430 nm para determinar la tonalidad de la cerveza de manera analítica dependiendo de la intensidad de la absorción observada. Se encontraron diferencias en los espectros de absorción en base a las unidades SRM (Standard Reference Method); en donde el color real de cada cerveza es la variación de un tono marrón, que varía según la concentración de colores rojos, cobrizos y ámbar a tonos amarillo dorado y amarillo claro; Para la determinación del color de la cerveza según el estándar SRM para las cervezas se obtuvo las unidades de color de la Figura 3.39. Correspondientes de manera semejante a obtenidas como referencia de otras tomas de medida como las tomadas para la referencia de color de la “BJCP Color Guide” (BJCP, 2018)

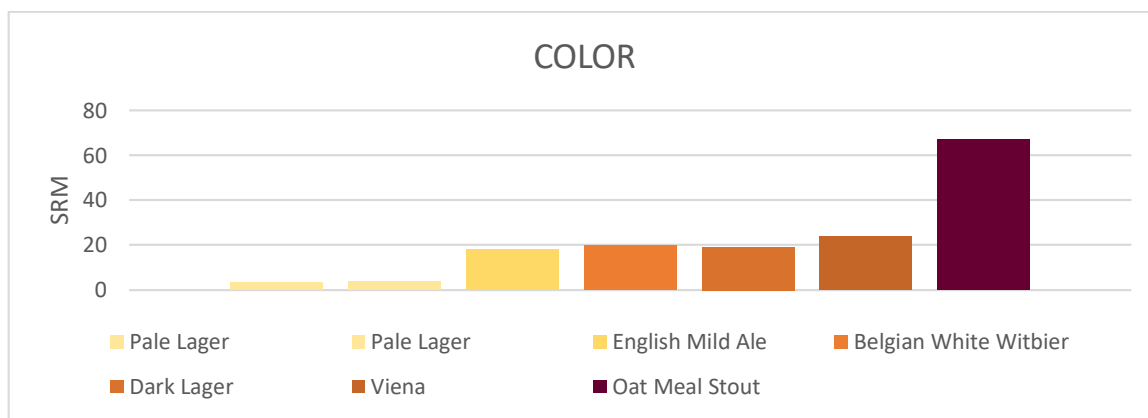


Figura 3.39. Variación de color en las cerveza en unidades SRM “Standard Reference Method” (Elaboración propia, 2018)

Existiendo además en todas las cervezas exceptuando las 3 y 4, un pico de absorción sobresaliente alrededor de los 330 nm el cual puede ser relacionado con aldehídos y cetonas. Las cervezas 3 y 4 tuvieron picos de absorción a los 259 nm semejante a la cerveza 5 y 7; la

cerveza siete es la que presentó la mayor cantidad de picos de absorción con alrededor de veinte picos sobre la banda de 230 a los 400 nm donde se relacionan con compuestos como cetonas, fenoles, proteínas, taninos además de compuestos aromáticos, entre otros componentes. Comparando los picos de absorción por encima de los 300 nm como lo indica la Tabla 4; UV-VIS y EFA se les pueden atribuir similitudes tanto como en intensidades de repuesta de absorción como el comportamiento a lo largo del espectro de radiación muestreado.

Tabla 3.3.4.4. Comparación de picos de absorción de cervezas: EFA y UV-VIS a diferentes longitudes de onda (Elaboración propia, 2018).

Longitud de onda aproximada(nm)	EFA	UV-VIS
220-230	n/a	1,2,3,4,5,6,7
240-245	n/a	5,7
250-255	n/a	1,2,3,5,6
260-265	n/a	1,3,4,5,7
270-275	---	1,3,4,5,6,7
310-315	1,2,3,4,~5,6	4,7
320-330	1,2,3,5,6,7	1,2,5,6,7
380-390	7	6,7

3.3.4.4.3 Espectroscopia FIR

El espectro transmisión obtenido de los diferentes tipos de cerveza sometidos a la técnica de Espectroscopia IR el cual se aprecia en la Figura 3.40; no mostró diferencias a lo largo del rango de la longitud de onda probada más allá del propio espectro del agua, debido a que la mayor parte del componente de las cervezas es agua. Sin embargo alrededor de los 1100 nm donde están bandas relacionadas a alcoholes dentro del cual se encuentra el etanol, elemento clave en la cerveza y el segundo a nivel de porcentaje en contenido de cerveza, el cual se identifica de manera amplia en los espectros obtenidos para todas las cervezas, teniendo como referencia agua destilada (0); si se pudiera extraer los componentes fuera de la solución acuosa, el espectro podría ser más definido para poder determinar los componentes complementarios presentes en la banda de infrarrojo.

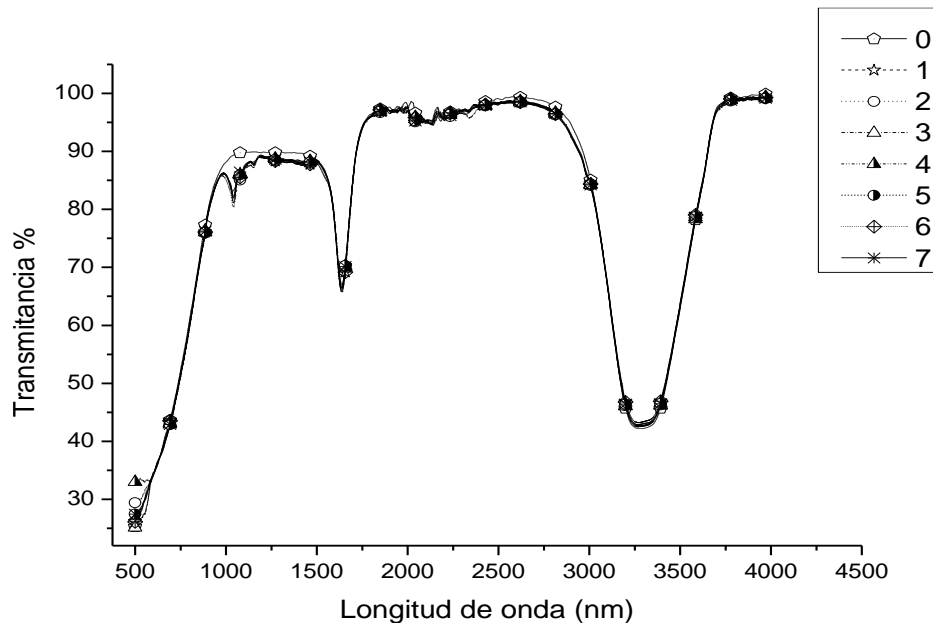


Figura 3.40 Espectro de transmisión IR -de cervezas tipo Lager y Ale (Elaboración propia, 2018)

3.3.4.4.4 Sistema portátil

Se procedió a la utilización del sistema fotoacústico portátil para poder identificar semejanzas entre el sistema FA portátil y la técnica EFA convencional ya establecida de laboratorio con el equipo de espectroscopia fotoacústica en conjunto con la comparación de la técnica UV-VIS. Se obtuvo el barrido en frecuencia de la señal fotoacústica de 10 a 500 Hz delimitando hasta los 130 Hz el estudio de la comparación de medias que se muestra en la Tabla 3.3.4.5. Para el análisis matemático del rango de frecuencia de radiación evaluado, se seleccionaron frecuencias con espacios de 5 Hz entre tomas de valores, de los cuales se realizaron el análisis estadístico ANOVA y la prueba LSD, como lo muestra la Tabla 3.3.4.5, describiendo los valores promedio, las agrupaciones, el coeficiente de variación, el coeficiente de determinación y los niveles de significancia, para las pruebas estadísticas realizadas. A partir de la Tabla 3.3.4.1 como referencia: se tiene que la Cerveza 1 (Belgian White Witbier), equivalente a C1; cerveza 2 (Viena), equivalente a C2; y así sucesivamente. La representación de las señales fotoacústicas obtenidas de las cervezas evaluadas se aprecia en la Figura 3.41.

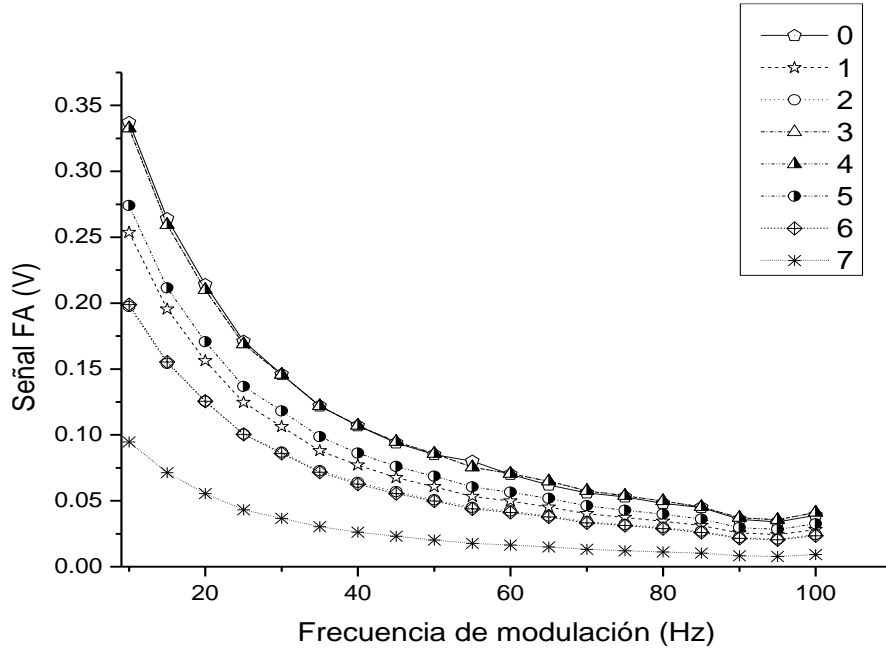


Figura 3.421 Señal fotoacústica en función de la frecuencia de modulación de cervezas estilo Lager y Ale: sistema fotoacústico portátil (Elaboración propia, 2018)

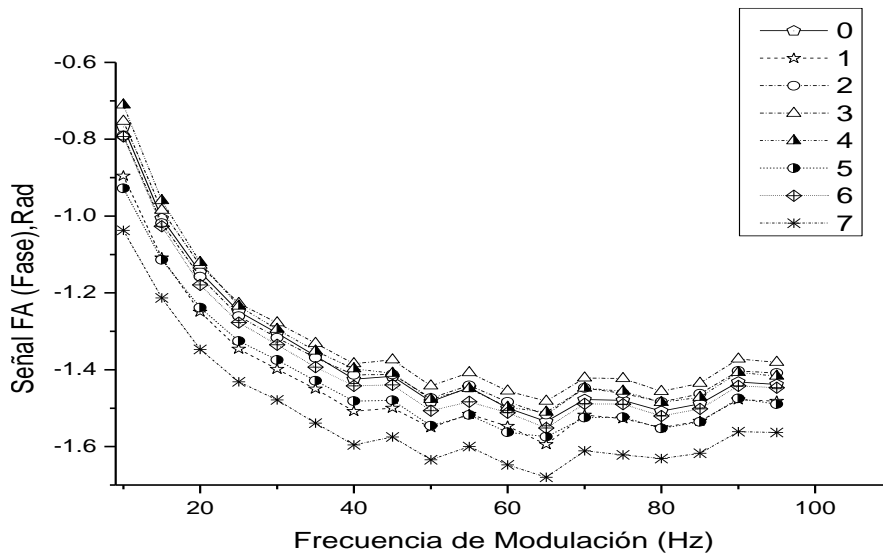


Figura 3.42. Fase de la señal fotoacústica en función de la frecuencia de modulación de cervezas estilo Lager y Ale: sistema fotoacústico portátil (Elaboración propia, 2018)

Además en la Figura 3.42, se observa la fase de las señales fotoacústicas, generadas a través del barrido en frecuencia del sistema portátil, en este caso para una longitud de onda pico de 467 nm proporcionada por las fuentes de radiación. Como lo menciona (Domínguez *et al*, 2014); el tiempo de relajación no radiativa se puede utilizar para caracterizar materiales complejos; ya que se basa en el estudio de las propiedades ópticas de los materiales de estudio. Es por ello que se implementó este procedimiento de estudio para las cervezas mediante el sistema FAP.

En general, la señal fotoacústica, está asociada con la excitación y la desexcitación de los componentes de las muestras analizadas, debido a que se generan procesos internos no radiativos; existen por tanto los tiempos de relajación, los cuales dependen de las estructuras moleculares de los materiales de estudio en este particular, los componentes de las cervezas que sean excitadas en la longitud de onda empleada. El análisis teórico de la señal del sistema portátil, que comprende a la amplitud y la Fase, podría permitir la obtención de los tiempos de relajación no radiativa según (Baesso *et al*, 1989). Este tiempo de relajación del proceso de desexcitación está relacionado con el tiempo que tarda la muestra en emitir calor, debido a la absorción óptica. Para obtener los tiempos de relajación no radiativa, a partir de la señal de fotoacústica, el fundamento teórico se basa en la implementación de la fase de la señal fotoacústica, en el cual se empleó el caso de muestras térmicamente gruesas determinando de igual manera si amplitud de señales variaba como f^{-1} , y se describe mediante la ecuación 3.3.4.a).

$$\phi = -\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\omega\tau) - \tan^{-1}\left[\frac{1}{(2\omega\tau\beta)^{1/2}-1}\right] \quad 3.3.4.a).$$

Respectivamente el tiempo de relajación no radiativa es τ , donde $\tau\beta = 1 / (\beta 2\alpha)$, dada por el coeficiente de absorción óptico β y la difusividad térmica de la muestra analizada α .

Tabla 3.3.4.5 Comparación de medias de amplitud de señal FA (457 nm) a diferentes frecuencias de modulación de siete distintos tipos de cervezas comercializadas en la Cd de México (Elaboración propia, 2018)

Variedades de cervezas	Frecuencia (Hz)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
C1	0.253b	0.195b	0.156b	0.124b	0.106b	0.088b	0.077b	0.067b	0.060b

C2	0.197c	0.154c	0.125c	0.100c	0.086c	0.072c	0.063c	0.056c	0.050c
C3	0.332a	0.259a	0.210a	0.168a	0.145a	0.121a	0.107a	0.094a	0.085a
C4	0.316a	0.252a	0.205a	0.164a	0.142a	0.118a	0.104a	0.092a	0.083a
C5	0.274b	0.211b	0.170b	0.136b	0.118b	0.098b	0.086b	0.076b	0.068b
C6	0.198c	0.155c	0.125c	0.100c	0.086c	0.071c	0.062c	0.055c	0.049c
C7	0.094d	0.071d	0.055d	0.043d	0.036d	0.030d	0.026d	0.023d	0.020d
AD	0.337a	0.264a	0.213	0.171a	0.146a	0.122a	0.107a	0.094a	0.085a
LSD	0.028	0.022	0.019	0.016	0.015	0.012	0.011	0.010	0.009
Media	0.250	0.195	0.1577	0.1262	0.1085	0.0906	0.0794	0.0701	0.0631
Significancia	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	6.532	6.618	7.142	7.*543	7.891	8.117	8.440	8.489	8.677
R²	0.975	0.975	0.972	0.970	0.967	0.966	0.964	0.964	0.963
Variedades de cerveza	60	70	80	90	100	115	130		
C1	0.049cb	0.040cb	0.034cb	0.025cb	0.028cb	0.011cb	0.021cb		
C2	0.042cd	0.033cd	0.029c	0.021c	0.024c	0.010c	0.018c		
C3	0.070a	0.057a	0.049a	0.037a	0.041a	0.016a	0.031a		
C4	0.068a	0.056a	0.048a	0.036a	0.040a	0.016a	0.030a		
C5	0.056b	0.046b	0.039b	0.029b	0.032b	0.013b	0.024b		
C6	0.041d	0.033d	0.028c	0.021c	0.023c	0.009c	0.017c		
C7	0.016e	0.013e	0.011d	0.008d	0.009d	0.003d	0.006d		
AD	0.070a	0.056a	0.048a	0.036a	0.039a	0.016a	0.029a		
LSD	0.0084	0.006	0.006	0.004	0.005	0.002	0.004		
Media	0.052	0.042	0.036	0.027	0.029	0.012	0.022		
Significancia	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		
C.V.	9.203	9.273	9.509	9.616	9.961	9.876	10.112		
R²	0.959	0.959	0.957	0.956	0.953	0.955	0.952		

Mínima Diferencia Significativa (LSD), Coeficiente de Variación (C.V.), Coeficiente de determinación (R²)

Para la obtención de los tiempos de relajación no radiativos, se optó por la obtención de los coeficientes de la ecuación de la fase descrita con anterioridad, en un ajuste de las curvas en un intervalo de frecuencias de 10 a 60 Hz como se muestra en la Figura 3.43

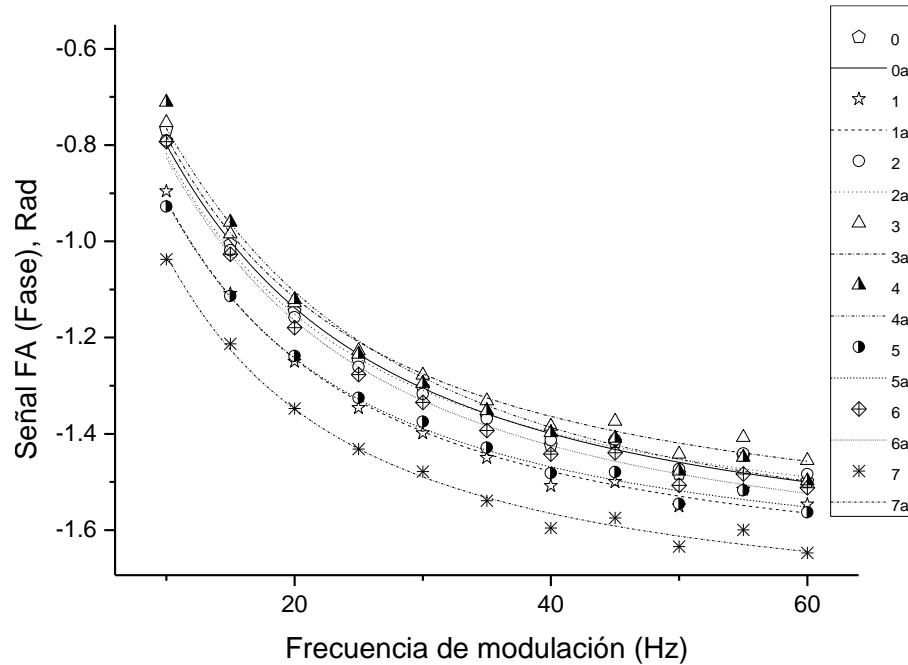


Figura 3.43. Fase de la señal fotoacústica ajustada: sistema portátil (Elaboración propia, 2018)

Una vez ajustadas las curvas y habiendo determinado los coeficientes de la ecuación, se obtuvo la Figura 3.44 correspondiente a los tiempos de relajación no radiativos con una semejanza generalizada en todas las cervezas a excepción de la 7 que corresponde tanto para el barrido en frecuencia, como con las otras técnicas de caracterización empleada como la que tiene más contribución en su absorción, pudiendo dar lugar a que transmita de manera más rápida la energía radiante y por lo tanto su

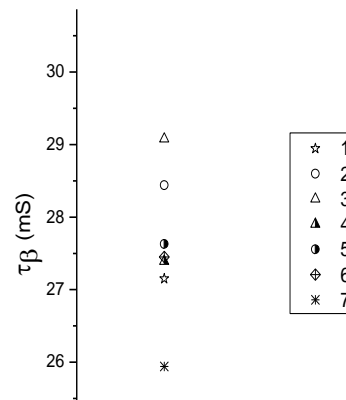


Figura 3.44 Tiempos de relajación no radiativos de cervezas (Elaboración propia, 2018)

tiempo de relajación sea menor comparado con las otras cervezas.

Como lo muestra, el análisis estadístico a sí mismo como el procedimiento de comparación de las gráficas en el mismo sentido se tiene que existen diferencias significativas para la amplitud de la señal fotoacústica dependiendo de la frecuencia de radiación incidente, de la misma manera y en concordancia con su homología de la técnica de espectroscopia fotoacústica convencional se tiene que existe mayor intensidad de la señal generada a frecuencias más bajas y para el caso del sistema portátil se alcanza a una frecuencia de modulación de entre 10 Hz y 20 Hz, generando una relación inversa de la intensidad de la señal FA con respecto de la frecuencia de modulación, en donde además las cervezas con pigmentación más clara generan menor absorción en contraste con las de tonalidades oscuras relacionándolo con la capacidad de transmitir o no la luz incidente, donde la cerveza 3 y 4 tiene una semejanza notoria perteneciendo a los mismo grupos en el análisis estadístico de la Tabla 3.3.4.5, y compartiendo una curva semejante a la que se genera con la muestra de agua destilada como referencia; de igual manera sobresale los grupos generados por las cerveza 2, 5 y 6; la cerveza 1 queda en un estado de intensidad de señal fotoacústica intermedia, respecto de los grupos anteriores mencionados.

Para el caso de la cerveza 7 nuevamente se nota como en las técnicas de caracterización precedentes una distinción sobresaliente en todas las frecuencias de modulación comenzando a sobreponer con las intensidades de las señales de las otra cervezas por encima de los 130 Hz; adicionalmente a la comparación a diferentes frecuencias de modulación de radiación, el sistema FA portátil como se mencionó cuenta con cuatro distintas fuentes de radiación con picos de emisión (656, 527, 467 y 414 nm), los cuales se realizó una comparativa de acuerdo a la longitud de onda incidente en frecuencias de modulación específicas a 10, 15, 30 y 60 Hz como se observa en la Figura 3.45, resultando en una equivalencia de espectroscopia fotoacústica convencional en el rango que comprende las fuentes de radiación del sistema portátil, ya que presentan la misma tendencia de comportamientos al momento de normalizar y transformar las intensidades de las señales generadas a modo de absorción por la ley de Lambert–Beer. Fue posible observar las máximas absorciones se encuentran a la longitud de onda inferior es decir a los 414 nm independientemente de la frecuencia de modulación empleada.

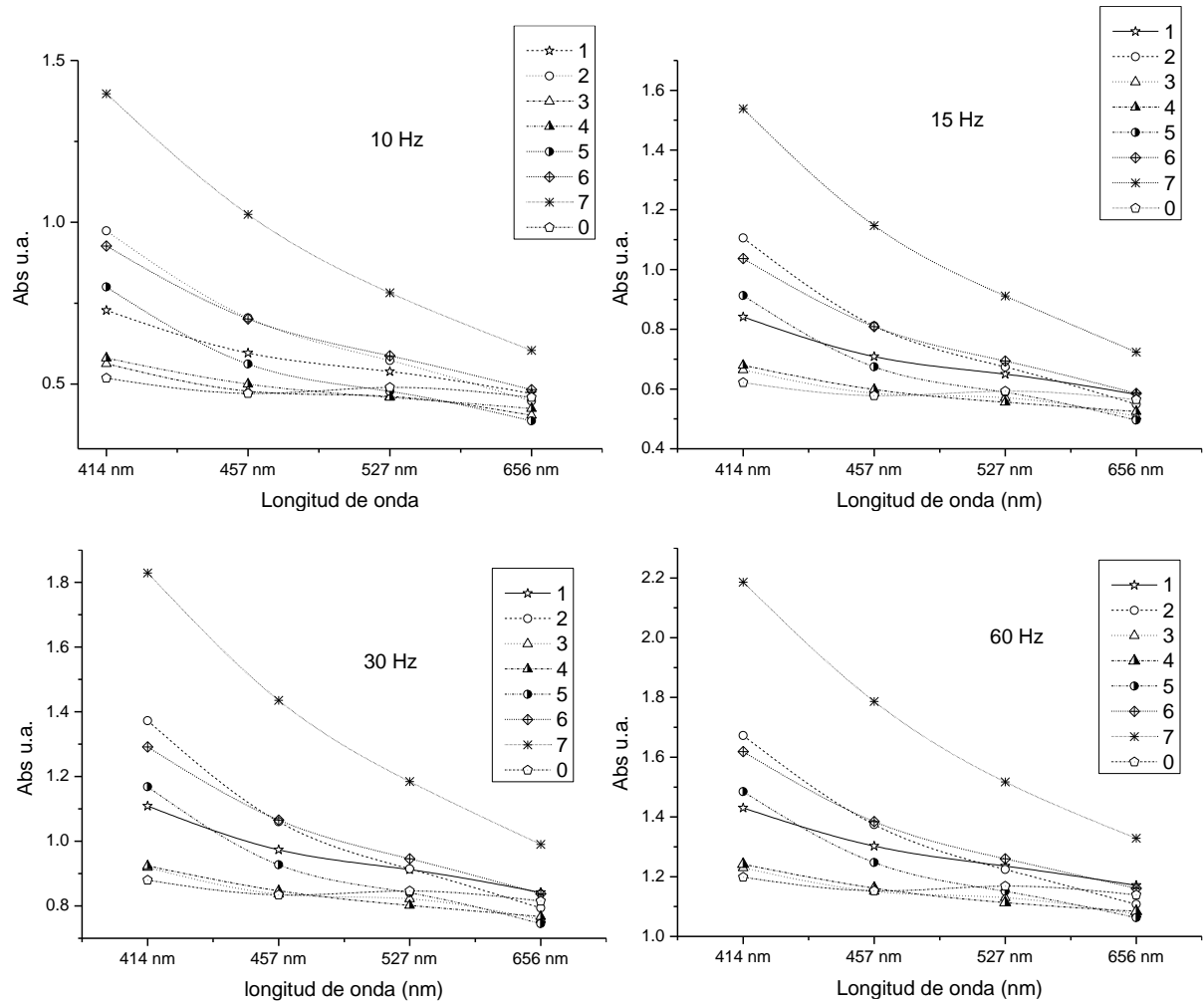


Figura 3.45. Comparación de intensidades de absorción a diferentes longitudes de onda y frecuencias de modulación: sistema FA portátil (Elaboración propia, 2018).

La cerveza que correspondió a la mayor absorción en los cuatro picos de las fuentes de radiación fue la 7 Ale Oat Meal, la de menor absorción correspondieron cercanas a la referencia 0, que es agua destilada, fueron las cervezas 3 y 4 Pale Lager, con características de coloración ligeramente amarillentas; donde todos estos cambios pueden ser detectables por el sistema portátil.

3.4.5.1 Derivada

El espectro de absorción obtenido de las diferentes tipos de cerveza sometidos a la técnica de espectroscopia fotoacústica se les aplico la primera derivada para obtener los espectros de primera derivada Figura 46, donde estos producen un perfil más amplio de los picos de

absorción. Al poderlos determinar de manera más detallada en comparación con el espectro original en este caso se encontraron los cruces en cero sobre el eje de la derivada de la amplitud, en donde aparecieron los picos en el rango de longitud de onda cercano o en los 330 -333 nm el cual puede ser relacionado con aldehídos y cetonas y picos 311 y 312 nm, esta es una herramienta eficaz cuando los picos o las bandas de absorción no son identificables fácilmente.

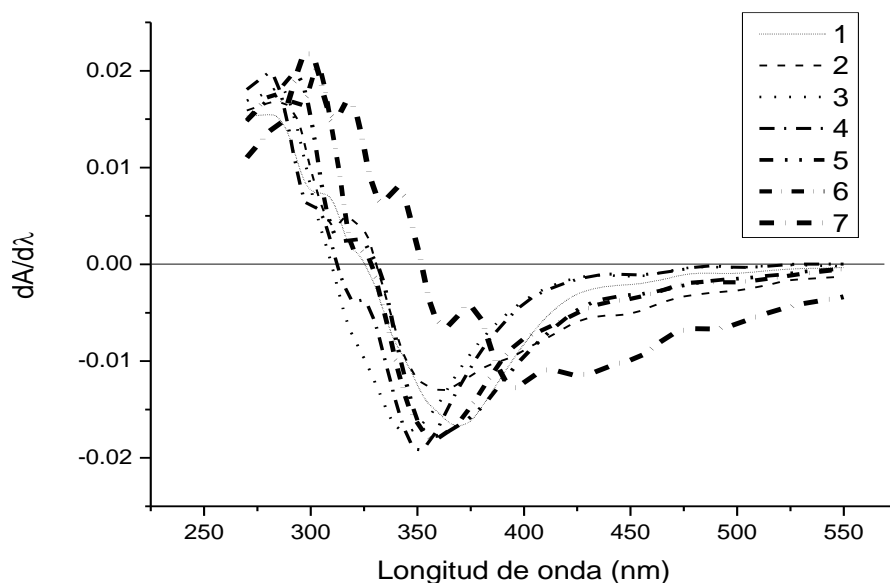


Figura 3.46. Primera derivada del Espectro de absorción Fotoacústico de cervezas tipo Lager y Ale (Elaboración propia, 2018)

Para el caso del espectro de absorción obtenido mediante la técnica UV-VIS, se evaluó igualmente el cruce por cero de los espectros derivados respecto de la longitud de onda, de la Figura 3.47, encontrando en la banda de los 330 nm a nuevamente picos sobresalientes que pueden estar relacionados con aldehídos y cetonas, así mismo en la banda de 270-280 nm existieron cruces por cero, exponiendo componentes como los ácidos alfa que le dan el sentido del amargor a la cerveza.

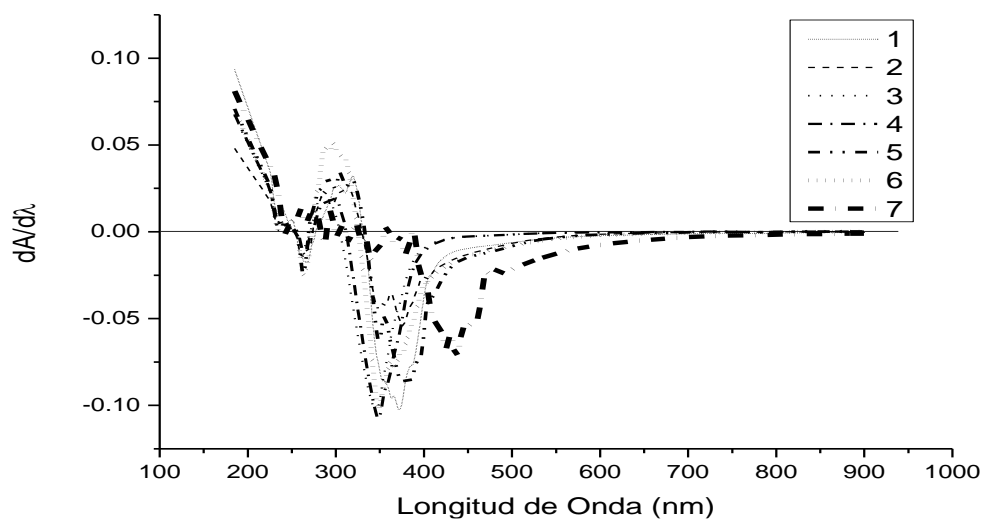


Figura 3.47. Primera derivada del Espectro de absorción UV-VIS de cervezas tipo Lager y Ale (Elaboración propia, 2018)

3.3.4.2 Convolución y correlación

La convolución determina la salida del sistema por medio conocimiento de la entrada y la respuesta al impulso del sistema.

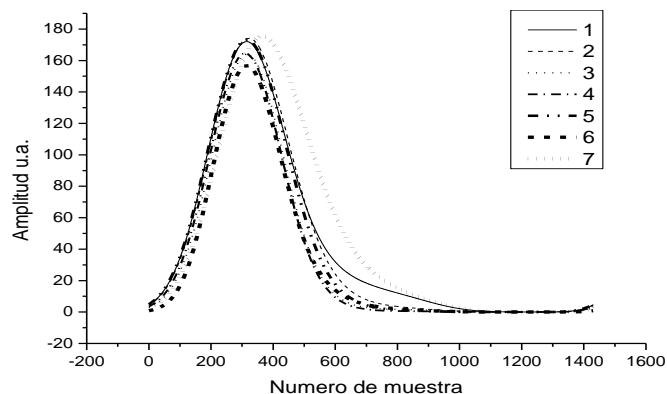


Figura 3.48. Convulación de los espectros de absorción UV- VIS (Elaboración propia, 2018)

En este caso se implementó la convolución tanto a los espectros obtenidos por la técnica de espectroscopia fotoacústica como, con la técnica UV-VIS, para determinar la equivalencia de los espectros con la distribución normal a través de una función de campana de gauss todo

ello implementado y obtenido con el software Origin 8.6. Los dos resultados obtenidos se pueden identificar en la Figura 3.48 para el caso de espectroscopia fotoacústica, y la Figura 3.49 para la espectroscopia UV-VIS.

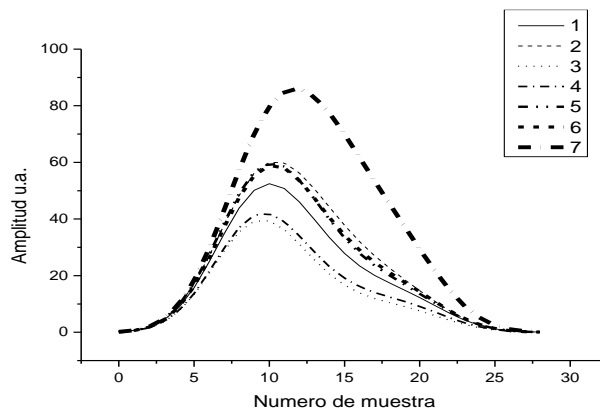


Figura 3.49. Convolución de los espectros de absorción Fotoacústicos (Elaboración propia, 2018)

Inspeccionando y analizando los resultados, sobresale que para todas las muestra de cerveza para el análisis de las dos técnicas, se tiene que el comportamiento de las muestras tienden a comportarse como una función con distribución normal, posicionándose, en las muestras inferiores, correspondiendo a las absorciones más altas en longitudes de onda menores respecto de los dos tipos de espectros analizados, y entre más ancho de banda tengan sus espectros más coherente se encontrara respecto de una distribución normal, como se ve reflejado en la cerveza 7, sin embargo también esto asume menos definición de picos, y por tanto un posible traslape de los componentes y sus picos de absorción correspondiente, haciéndolos menos identificables. Igualmente en el aspecto de la correlación de Pearson y a partir de las tablas de análisis estadístico resultante para ambos tipos de técnicas y la interpretación del coeficiente de determinación R^2 , se puede asimilar que existe mayor similitud y correlación al ir aumentando la longitud de onda incidente, a lo largo de los espectros, y en mayor medida cuando las muestras comparten similitudes de absorción.

3.3.5 Actividad de investigación 5: Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil

3.3.5.0 Resumen

La investigación desarrollada se realizó con el fin de generar una alternativa para la medición de concentraciones de contenido totales de azúcar, donde normalmente se utilizan métodos de refractometría para la determinación de contenido de azúcares en diversas soluciones, realizando la comparación entre el método tradicional con la utilización de refractómetro, comparándolo con el sistema portátil con principio fotoacústico (FA) y una propuesta adicional por técnica FA. Las respuestas del sistema portátil fueron obtenidas en función de la frecuencia de modulación y cuatro diferentes longitudes de onda de excitación, para diversas concentraciones de azúcar en agua y cerveza, junto con la comparación de disoluciones de cerveza. Las señales encontradas fueron analizadas matemáticamente para obtener las curvas de respuesta y realizar un ajuste de concentraciones realizando la comparación entre las alternativas propuestas.

3.3.5.1 Introducción

El azúcar estándar es el producto sólido derivado de la planta de caña de Azúcar, principalmente constituido por cristales de sacarosa, en una concentración de alrededor del 99.40% de polarización. Donde el azúcar refinada se obtiene mediante un proceso similar al empleado para reducir el azúcar crudo en mascabado “refinamiento”, esencialmente constituido por cristales sueltos de sacarosa, en una concentración mínima de 99.90% de polarización utilizado en áreas como productos lácteos, dulces, conservas, cárnicos, en la industria farmacéutica, etc. (Cargill-incorporated, 2014).

Así cómo es posible su presencia en casi todos los productos derivados de plantas. En especial en alimentos como la miel, vino y cerveza, donde están presentes en cantidades significativas además de estar presentes en una variedad de alimentos sólidos como el pan y los pasteles, chocolate. (Megazyme, 2006).

Es de gran importancia la medición de la concentración de sólidos disueltos, principalmente azúcares, por ejemplo en una planta cervecera ya que la concentración de azúcares disueltos en el mosto es un indicador del potencial poder alcohólico de la cerveza, debido a que los azúcares son los componentes que la levadura fermentará y transformara en alcohol. La

concentración de sólidos se puede medir de manera sencilla usando un hidrómetro, que es un instrumento que se utiliza para medir la gravedad específica de un líquido o alternativamente, la concentración se puede medir utilizando un refractómetro, el cual es un instrumento para medir el índice de refracción de un líquido (Garrett, 2011).

La refractometría es un método de medición que determina el índice de refracción de una sustancia para evaluar su composición o pureza y es que a partir del conocimiento del índice de refracción de una sustancia, se pueden comprender propiedades como el contenido de azúcar de un mosto o jugo, la cantidad de sal en alimentos o la salinidad de un cuerpo de agua (Hanna Instruments, 2018).

Además, mediante el empleo de refractometría se puede determinar de forma indirecta el grado de alcohol probable por ejemplo en un mosto a través de la determinación de su concentración en azúcares. Ya que cuanto mayor concentración de azúcares este presente un mosto, de igual manera aumentará la densidad y menor la velocidad de los rayos de luz que lo atraviesen, que al mismo tiempo sufrirán una desviación en su trayectoria. Esta variación de la trayectoria se liga directamente con la concentración de azúcares y otros sólidos solubles, de tal manera que a mayor sea su concentración, mayor será el grado de desviación del haz de luz incidente y viceversa. Un refractómetro permite cuantificar esa relación entre el grado de refracción y la concentración de azúcares en distintas unidades de medida. La unidad de medida más frecuente es el grado Brix ($^{\circ}$ Brix) o porcentaje en masa de sacarosa (PCE Instruments, 2014)

Además de la utilización de la refractometría, existen sistemas como el patentado por (Koashi & Yokota, 1989), para medir concentraciones de azúcares en líquidos mediante el uso de infrarrojo cercano, utilizando radiación infrarroja en longitudes de onda de 950-1,150 nm, 1,150-1,300 nm y 1,300-1,450 nm.

Además de la propia importancia de conocer la cantidad de azúcar dentro de algún producto. El color se emplea como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos hace necesario disponer de métodos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles del color, el cual es afectado por muchos factores, tales como

la iluminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada (Rettig & Ah-Hen, 2014)

Se ha realizado mediciones de color en contribuciones de azúcar como formador de caramelización en base a reacciones Maillard, monitoreando mediante mediciones espectroscópicas a 420 nm para relacionar el efecto de la caramelización por parte de los contenidos de fructosa y sacarosa y la modificación del color como lo reportaron (Reyes et al, 1982).

La Comisión Internacional para el Análisis Uniforme de Métodos de Azúcar (ICUMSA) desarrolla métodos de medición estándar para caracterizar la blancura del azúcar. En donde se mide la blancura sobre la amarillez del producto, con la (420 Sugar Score). En donde para los azúcares de glucosa blanca altamente refinados, hay cantidades mínimas de amarilleo debido a las cantidades residuales de melaza del proceso de refinación o el envejecimiento de la glucosa en glicéridos (Hunter Lab, 2008).

De la cual se desprende parte de la norma nmx-f-526-1992. De la industria azucarera. Para la determinación de color por absorbancia en azúcares blancos. Método de prueba, para evaluar la calidad y color de los azúcares y esta constituye tanto el uso de espectroscopia UV-VIS a 420 como refractometría para obtener los grados de color estandarizados ICUMSA

3.3.5.1.1 Objetivo

Realizar la medición de diferentes concentraciones de azúcar disuelta en medios acuosos mediante sistema fotoacústico portátil como método alternativo

3.3.4.1.2 Hipótesis:

Es posible utilizar sistemas alternativos de medición FA, para obtener las concentraciones de disoluciones, obteniendo similitud en las respuestas respecto de la instrumentación tradicional, al ligar propiedades de absorción óptica con densidades de las muestras.

3.3.5.2 Materiales y Métodos

3.3.5.2.1 Material empleado

2 Kg de Azúcar refinada, Cerveza estilo ALE / Double chocolate stout, agua destilada. Con los cuales, se realizaron 25 medidas de azúcar refinada en proporciones de dos gramos en dos gramos, pesadas mediante balanza electrónica marca VELAB con una resolución de 0.01 g, se realizó la calibración de la balanza, posteriormente se midió el peso de los contenedores este caso bolsas de cierre hermético donde se tuvo un promedio de peso de 230 g para posteriormente para realizar la toma de medición de la muestra se restaba el peso del contenedor, se realizaron dos paquetes de muestras de 1 a 50 g como se muestra en la Figura 3.50. Para su disolución en muestras de agua en un contenido de 100 ml agua o 100 ml cerveza estilo lager según sea el caso para cada estudio para cada estudio.

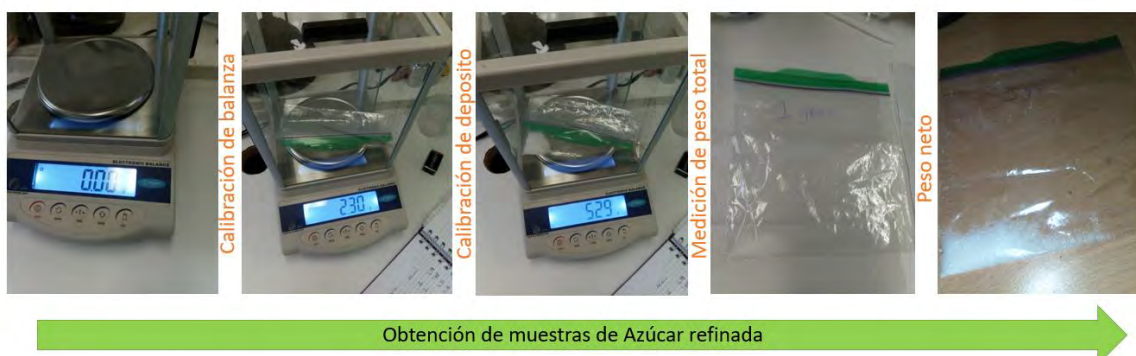


Figura 3.50. Proceso de medición de muestras de azúcar refinada (Elaboración propia, 2018).

Todas las muestras son sometidas a un proceso de mezclado mecánico en el cual un contenedor es agitado de manera artificial mediante un mecanismo electromecánico, para poder disolver el contenido de azúcar dentro de la solución de agua o cerveza según sea el caso, y que sea una mezcla homogénea, y no presente gránulos no disueltos dentro del líquido, cada una de las muestras es disuelta una a una; una vez teniendo disueltas las soluciones se procesa a integrarlas en cada uno de los medios de medición, ya sea para medida de refractancia, obtención de señales FA por medio del sistema portátil o el conjunto complementario de sistema FA igualmente con medidas de señal FA, todo el procedimiento de preparación de las muestras se aprecia en la Figura 3.51, en donde se recurre a la mezcla continua de las soluciones para tenerlas homogeneizadas.



Figura 3.51. Proceso de mezclado de muestras (Elaboración propia, 2018).

En el caso de las muestras de cerveza, se toma una solución de 5 ml de la misma y fue realizando mezcla una vez desmasificada las cereza atreves de la acción de agitación mecánica por parte del mismo instrumento utilizado para las mezclas de azúcar, realizando igualmente la mezcla con jeringas de precisión en y añadiendo concentraciones de 0.2 ml de disolvente realizando una equivalencia en que se mantenga el mismo volumen máximo de volumen total de líquido es decir los 5 ml de sustancia.

3.3.5.2.2 Refractancia

La instrumentación de refractometria, corresponde a un Refractómetro Brix modelo RF 15 de Entech Intrumens el cual cuenta con compensación de temperatura, con el cual se realizaron las mediciones de refractacia en grados Brix de las mezclas de agua en diferentes porcentajes y cerveza y azúcar ya agua en este último caso con disoluciones de azúcar en adiconamiento de 2 gramos a cada 100 mililitros de líquido hasta llegar a una concentración de 50 gr con 100 ml de mezcla. El procedimiento de toma y medición de muestras se describe en la Figura 3.52, donde una vez obtenido la materia prima a añadir, y una vez mezcladas se toma una porción de unos micro litros lo suficiente como para poder cubrir la zona ocular donde se deposita la muestra, se procede a cerrar el protector de refractómetro, esperar alrededor de 30 segundos para que se estabilice la muestra y posterior a ello se toma la medición mediante el lente posterior donde internamente se un conjunto de marcas que

marcan a partir de la sombra generada por la luz incidente e internamente se mide de acuerdo a la marca registra internamente en grados y esa es la medida y toma del valor en grados Brix. Una vez terminada la toma de muestra se retira el líquido depositado y se procede a limpiar y secar el depósito de muestra para la próxima medición. Se determina la concentración de sucrosa por la intersección de la línea límite de los campos claro/oscuro conocida como la línea de sombra en la escala impresa. El instrumento presenta también una guarda ocular para prevenir que entre luz ambiental y cause reflejos

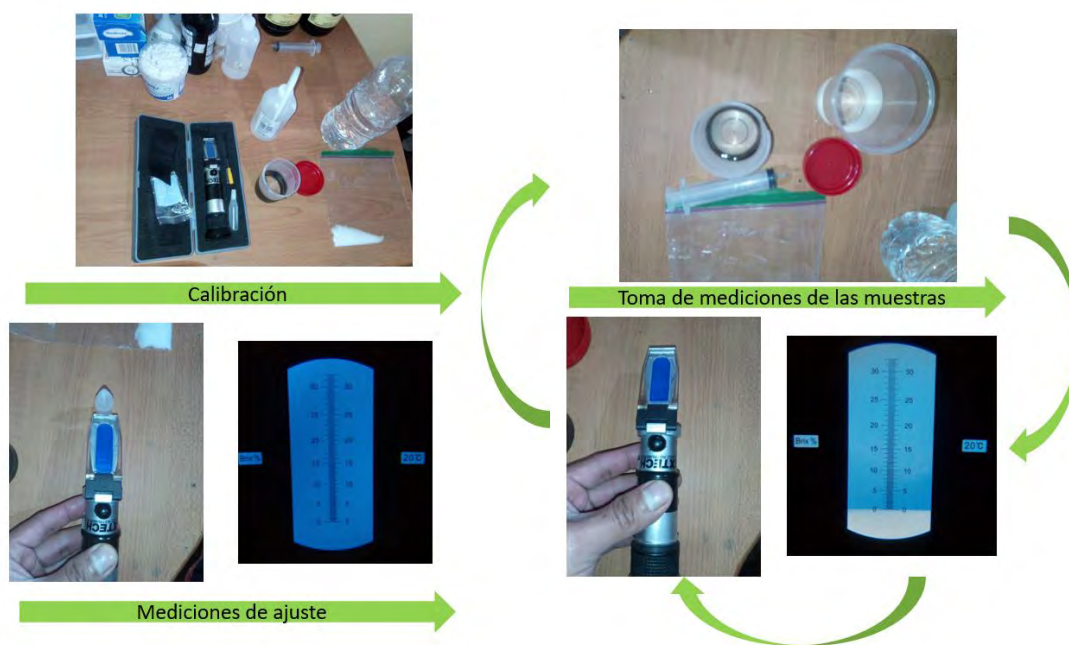


Figura 3.52. Medición de grados Brix de muestras (Elaboración propia, 2018).

Esta medición se realizó igualmente en la disolución de cerveza con agua, tomando la medición a diferentes porcentajes de cerveza con agua con el mismo procedimiento realizado para el azúcar.

3.3.5.2.3 Sistema Fotoacústico portátil (Homemade-ESIME Zacatenco)

Empleando un sistema fotoacústico portátil FAP expuesto en la Figura 3.53 e obtuvo la señal FA en función de la frecuencia de modulación a distintas longitudes de onda, de las cuales se seleccionaron frecuencias de excitación particulares para obtener el nivel de señal FA a la longitud de onda de la radiación incidente proveniente de LED de alta intensidad. El sistema

cuenta con picos de emisión respecto de la máxima amplitud en las longitudes de onda de 656, 527, 467 y 414 nm. Para la obtención de las señales FA las muestras de en sus diferentes concentraciones fueron desairadas con el procedimiento descrito en la preparación de las muestras. Una vez estabilizada se colocó en la celda del sistema una cantidad de 0.5 ml de líquido para posteriormente realizar un barrido en frecuencia de 10 a 90 Hz configurando la el Software control del sistema para la toma de señales. En este caso cada toma de muestras se deposita en el contenedor en el que previamente se limpia su superficie con alcohol y un cotonee para dejarlo perfectamente limpio y sin residuos para él depósito de las mezclas subsecuentes.



Figura 3.53. Sistema fotoacústico portátil (Elaboración propia, 2018)

La toma de muestras mediante el procedimiento descrito para cada una de las muestras tanto de soluciones azucaradas como soluciones de cerveza. Se realizó por triplicado para corroborar y promediar los datos del sistema y evaluar el funcionamiento del sistema, y poder determinar Se realizó una media alternativa mediante el principio de la técnica de espectroscopia fotoacústica, empleando el sistema de adquisición y procesamiento de señales del equipo fotoacústico portátil en el cual se implementa una configuración de celda cerrada como la que se observa en la Figura 3.54, en donde por la parte interna se deposita grafito como agente generador del efecto FA, irradiado por un láser a 405 nm.

3.3.5.2.4 Sistema Fotoacústico portátil extensión (Homemade-Esime Zacatenco)

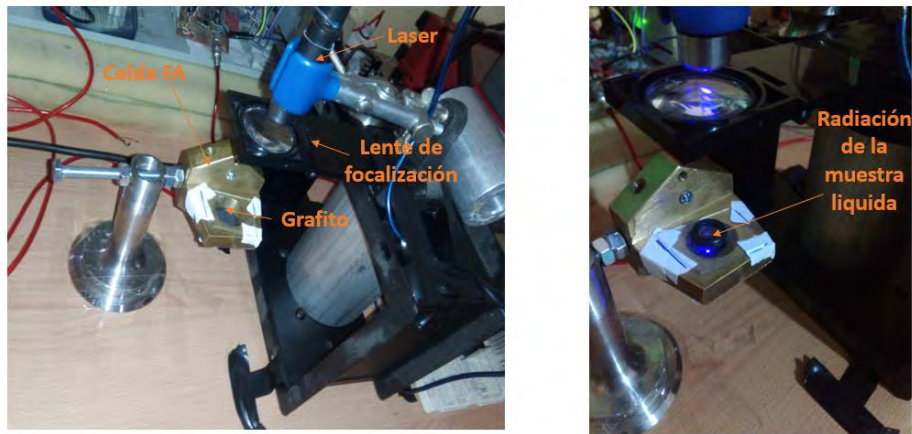


Figura 3.54. Sistema fotoacústico portátil extensión (Elaboración propia, 2018)

En el que el haz se focaliza mediante un lente óptico que reduce el foco de radiación sobre la ventana superior de la celda FA, se adhiere un anillo Orin para retener la muestra líquida en que se deposita una cantidad de 0.15 ml de líquido a analizar, o en la misma toma de proporción para las mezcla de disolución de cerveza se ingresa la misma cantidad de solución dentro del depósito formado por el oring, todas las curvas generadas por el sistemas son registradas para ser comparadas y determinar el comportamiento del mis

3.3.5.4.1. Refractometria

Se obtuvieron las mediciones de grados de diferentes concentraciones representadas mediante un ajuste logarítmico como se observa en la Figura 3.55

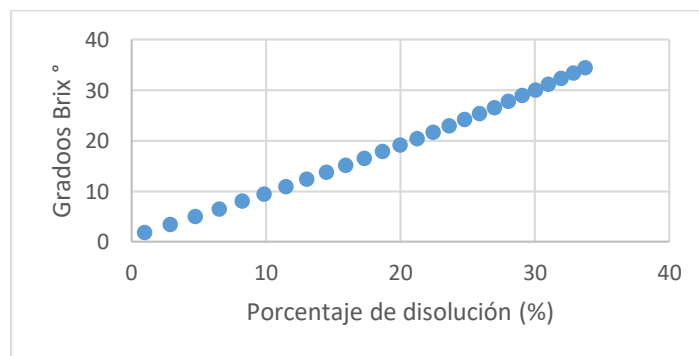


Figura 3.55. Concentración de disolución de azúcar vs grados Brix (Elaboración propia, 2018)

Al aumentar la concentración de azúcar respecto de la concentración total de solución se va modificando el índice de refracción y por tanto los grados Brix de la muestra el resultado no muestra un comportamiento lineal si no logarítmico, respecto de la tomas muestreadas de azúcar, la variaciones que se muestran es aproximadamente un grado Brix por cada gramo de solución disuelta variando en un porcentaje debido a que su relación no se logró observar linealmente , para el caso de las disoluciones de cerveza esta presento en que no se podían observar diferencias por debajo de 30 % de disolución y mostrando comportamientos en lo cual no se podía distinguir la medición o separar las mediciones realizadas son escalonadas y solamente se distingue por encima del 70% de solución .

3.4.5.4.2 Sistema portátil

Una vez realizadas las mediciones se realizó la comparación de los datos arrojados a cinco diferentes frecuencias de radiación con las disoluciones presentadas para el caso de la obtención de las señales entre azúcar y agua, este caso los datos de comportamiento se notaron que no había variación entre las diferentes muestras no importando la cantidad de compuestos hasta un 33 % de solución, en la cual se realizó las muestras debido a que el máximo grado de medición por parte del refractómetro en este caso 35 grados era la medida de comparación. Las respuestas de SFA se aprecian en la Figura 3.56.

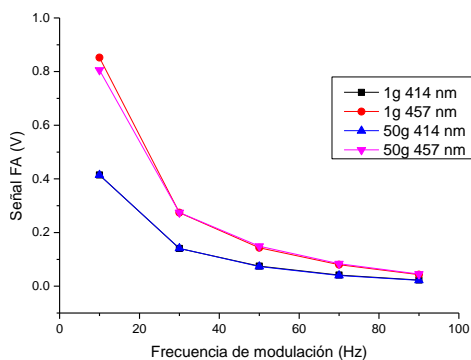


Figura 3.56. Señal FA sistema portátil medición de azúcar (Elaboración propia, 2018).

En este caso se observa que no se marca ninguna diferencia entre disoluciones y respuesta generada tanto en las longitudes de onda radiada como como función de la frecuencia de modulación por parte de la fuente de excitación, en el caso de la medición de concentraciones

de azúcar. Los resultados de la toma de mediciones de disoluciones de cerveza a diferentes % de agua de solución disolvente se pueden apreciar en la Figura 3.57.

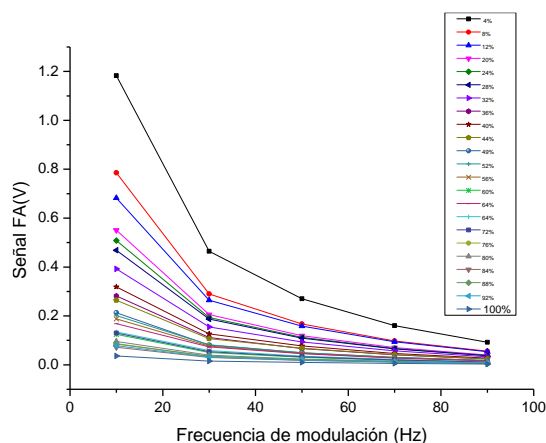


Figura 3.57. Señales FA vs % de disolución cerveza en agua: celda abierta (Elaboración propia 2018)

En donde se observa para el caso de la utilización del complemento de celda fotoacústica abierta una respuesta de carácter logarítmico en donde se puede observar como varía la intensidad de la señal fotoacústica de acuerdo a la concentración de cerveza, en este caso se pueden detectar y realizar una equivalencia de acuerdo por ejemplo al grado de absorción óptica, debido a que entre más oscura es la muestra la radiación que transmite se va disminuyendo y esto es detectable por el sistema como se puede observar en la Figura 3.3.5.9, donde se registran los porcentajes de disolución en agua respecto de la señal fotoacústica, a diferentes frecuencias de radiación, registrando que a menores frecuencias se tiene mayor señal y por lo tanto es factible la comparación o igualación de las intensidades de color con otras sustancias, esto se presenta para las mediciones en el rango de 414, 527 y 656 nm por parte y a 457 nm por parte de la radiación azul correspondiente a la Figura 3.58, en la que de igual manera se aprecia la disminución de la intensidad de la señal fotoacústica respecto del porcentaje de disolución de la muestra apreciándose que la distinción en los porcentajes de disolución.

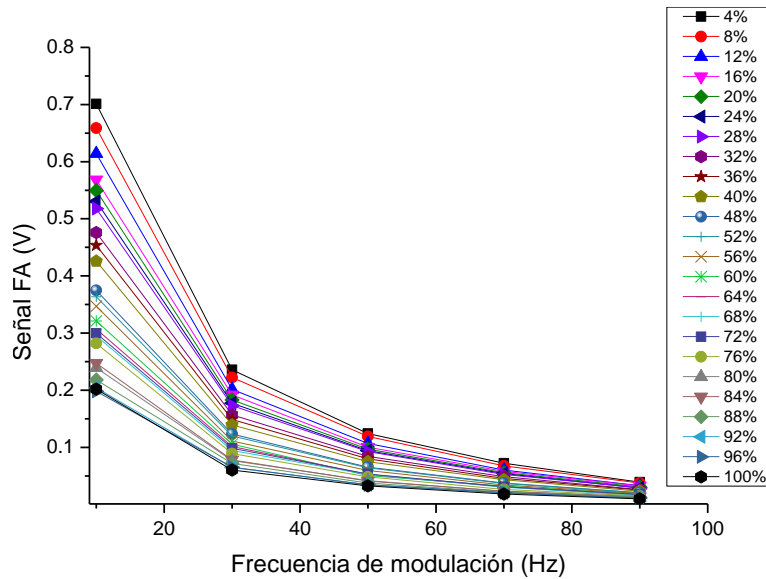


Figura 3.58. Señales FA vs % de disolución cerveza en agua: sistema FA portátil (Elaboración propia 2018)

Las respuestas de intensidad de señal van disminuyendo en forma logarítmica a lo largo de las diferentes concentraciones por lo que se realizó el ajuste de las señales.

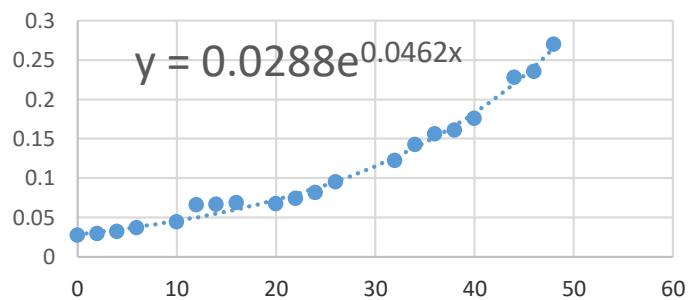


Figura 3.59. Ajuste de comportamiento del sistema FA portátil (elaboración propia 2018)

La representación del ajuste se aprecia en la Figura 3.3.5.10, se puede determinar el comportamiento del sistema y con ello realizar una relación de intensidad de absorción óptica respecto de la cantidad de disolución de la muestra en contraste igualmente con la frecuencia de radiación de las mismas muestras, con ello se puede decir que se presenta una relación de absorbancia respecto de la cantidad de solución de una muestra.



CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para poder satisfacer los requerimientos de la sociedad actual , una vez revisando el contexto que arrojo la investigación documental, las experiencias que trajo con ello el involucramiento, de la visión sistémica para poder ayudar a resolver los problemas contemporáneos, resulta que y como se menciona en el capítulo número uno existen diferentes problemáticas que no solo con una sola ciencia se puede resolver sino que como es el trabajo realizado simplemente las diferentes posturas, la parte técnica- teórica la parte social, la parte económica y sobre todo la unión las mismas inclusive involucrase de manera directa en la problemática

Es decir existe la potencialidad de poder contribuir a estos factores limitantes desarrollando las alternativas tecnológicas capaces de poder suplementar o substituir a totalidad las herramientas actualmente utilizadas implementado la técnica fotoacústica como método de obtención de información de datos e información relevante que en un futuro pueda crecer ayudar

4.1.1 Discusión de la actividad de investigación 1

sin embargo las diferencias resultantes en mayor medida se podría considerar que la generación y captura de la señal directamente de las muestras analizadas promueve una menor generación de señal respecto de la proporcionada, por la configuración en modo de transmisión de calor con la que se desempeñó la instrumentación de laboratorio, respecto de que esta configuración no es la muestra que genere directamente la señal, si no el propio material de soporte, para el caso de la implementación, se utilizó aluminio , en el cual se habría de considerar la influencia del propio medio ambiente externo a la celda, y para el caso del sistema desarrollado, la generación directa, influye en circunstancias ya que la generación de señales fotoacústicas directamente del material liquido requiere de una mayor estímulo y por ello mayor potencia de radiación, junto con una sensibilidad en la instrumentación adecuada para que pueda pervivir las mínimas diferencias de señal que puedan generar estos materiales

4.1.2 Discusión de la actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil

La evaluación del desempeño interno de los dispositivos eléctricos y electrónicos es fundamental para asegurar una adecuada entrega datos para la posterior generación de

información, en el caso de la instrumentación FA agentes externos como las perturbaciones mecánicas, eléctricas y perturbaciones electromagnéticas influyen las cuales hay que tomar en consideración, cuando se pretende desenvolver un dispositivo de medición confiable y para uso comercial, de tal manera que las evaluaciones y correcciones generadas en la segunda actividad correcciones en la tomas de amplitud, desfaseamiento por parte de los dispositivos de pre-amplificación causaron una mejora en el desempeño de la salida del equipo que en ocasiones inclusive en instrumentaciones y montajes tradicionales de laboratorio no se llegan a tomar en cuenta ya que son implementaciones modulares y en el caso del sistema desarrollado es un solo equipo,

Las comparaciones entre la potencia consumida respecto de la cantidad de radiación generada resultan en una eficiencia mayor por parte del LED de color violeta no siendo uniforme la radiación en ningún caso

4.1.3 Discusión de la actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.

El manejo de las nuevas tecnologías de desarrollo de manufactura puede incidir en el desempeño del desarrollo otras alternativas tecnológicas como es el caso de la presente investigación, primeramente por el incremento en la extensión de posibilidades de flexibilidad entorno a la generación física de nuevas ideas como son piezas implementos o accesorios, sino también en el incremento de habilidades técnicas para el propio desarrollo como complemento del objetivo general de este trabajo de investigación, en este ámbito hay que tener en cuenta, que el poder generar este dinamismo en torno a la generación física de los diseños no debe de desvirtuar el objetivo de la utilización de la misma herramienta que sería obtener rapidez, sencillez y resultados semejante a los ya obtenidos por los otros medios, y es por ello que al realizar la comparación de los resultados del comportamiento entre los ya utilizado y que funciona, como es el caso de la implementación de la actividad uno, respecto del desempeño generado con la implementación de estas herramientas para esta actividad denotan la posibilidad de poder combinar conocimiento y técnicas de manera circunstancialmente más eficaces respecto de las formas tradicionales de creación de instrumentos

4.1.4 Discusión de la actividad de investigación 4; Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza

A través de análisis de las señales de los espectros de UV-VIS; IR y Espectroscopia Fotoacústica, en conjunto con el sistema portátil fotoacústico. Se pudieron determinar diferencias y similitudes como en la banda de 330 nm para ambas técnicas de análisis EFA y UV-VIS, entre análisis de los tipos de cervezas tanto en color como en múltiples bandas características de medición de las cervezas existen semejanzas en la forma en cómo se comportan en función de la longitud de onda, de manera general y excepción de los picos de absorción, que modifican la forma del comportamiento de los espectros, se tiende a que las muestras de cerveza absorben más radiación a menor longitud de onda incidente; además se puede asimilar que el estilo de la cerveza no determinan su la forma del espectro de absorción, en general su color, no así los de su elaboración como la cebada y el lúpulo. Las cervezas evaluadas presentaron un patrón de comportamiento espectral similar; de las técnicas fototérmicas y el caso particular de la técnica fotoacústica para el caso de análisis de las propiedades de las cervezas puede ser complementaria a los resultados obtenidas por otros métodos como la UV-VIS ya estandarizada; ya que hasta ahora no se han hecho estudios del producto final con esta esta técnica y como se pudo analizar puede ser descrita con un comportamiento semejante a la espectroscopia UV-VIS. En tal caso la utilización en la determinación del color en la banda de los 430 nm por ejemplo al realizar una técnica homologa a la ya establecida por la MEBAK, por ejemplo. Respecto de la utilización de sistemas alternativos y en este caso un sistema portátil fotoacústico.

4.1.5 Discusión de la actividad de investigación 5: Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil

Se puede argumentar que el sistema puede ser utilizado bajo ciertos límites de detección, ya que si se presentan muestras líquidas que no muestren algún tipo de pigmento resulta que la absorción por parte de la muestra no es suficientemente fuerte como para mostrar alguna diferencia por ser transparente, ya que en el caso de estas muestras las longitudes de onda que normalmente se utilizan son en el rango de UV o infrarrojo.

4.2.1 Conclusiones de la actividad de investigación 1

Se pudo conseguir que la respuesta a la estrada de las señales se unificara en una calidad que puede considerarse lo más cercana a lo lineal respecto a la frecuencia de excitación, siendo este uno de los principales problemas que presentan este tipo de dispositivos, de igual manera una vez resuelta las dificultades que aun presento el hardware a pesar de tener la configuración optima esto se pudo resolver por medio de corrección de software por medio de la interpolación de la función de respuesta en el caso de la pre amplificación, quedando integrada dentro del sistema de procesamiento de señal dentro del algoritmo del método de captura de señales; todo esto hizo posible que se tenga una mayor certeza en cuanto que se tiene una señal virtual equivalente a las señales de entrada del sistema FA, que es columna vertebral del método de muestra de la señal FA.

Todo ello a partir de la implementación resultante de la investigación antecesora, de un trabajo de investigación del grado anterior, el prototipo desarrollado la mayor parte de las expectativas de adquisición de señal respuesta en frecuencia, da en comparación con la instrumentación de una implementación tradicional de la técnica fotoacústica

4.2.2. Conclusiones de la actividad de investigación 2: Caracterización eléctrica, electrónica y óptica de sistema FA portátil

Se pudieron obtener los espectros de emisión de radiación de fuentes de luz: LED de alta intensidad en longitudes de onda del rango visible en colores: Rojo, Amarillo, verde y azul a potencias de consumo 5 Watts cada una y violeta a potencia de consumo de 1.5w, por medio del empleo de la técnica fotoacústica donde la configuración tradicional de fuente de luz de lámpara de xenón es sustituida por los LED como fuente emisora de luz, de aquí aunque los picos de emisión aunque no corresponden, a las hojas técnicas provista por los proveedores, si se coincide con aportes de otros autores, hay que corroborar intensidades de emisión para poder normalizar las salida que otorga en amplitud y fase el sistema.

4.2.3 Conclusiones de la actividad de investigación 3: Mejora, diseño y construcción de sistema FA portátil.

Se desarrolló un sistema cuyo planteamiento se describe como un Proceso multiled portátil para muestras liquidas, mediante la implementación de fuentes de luz: LED (Light-Emitting

Diodes) de alta intensidad. Desarrollando dos diferentes configuraciones de celda fotoacústica la primera para modo directo de radiación donde la muestra es el elemento excitado y el cual es el que genera el efecto FA y el modo de transmisión en el cual el material de soporte donde se produce el fenómeno FA, en donde las muestras líquidas se depositan en un contenedor, modulando la luz proveniente de los LED y haciendo incidir sobre la muestra un haz de luz, la señal es capturada y procesada por un sistema informático que muestra la intensidades de la señal y su fase como función del rango de longitud de onda frente a la frecuencia de modulación.

4.2.4 Conclusiones de la actividad de investigación 4; Caracterización óptica de diversos tipos de cerveza

Fue posible encontrar diferencias en los tipos de cervezas evaluadas en la variable tiempos de relajación no radiativo así como la capacidad de absorción según la muestra analizada y la longitud de onda radiante disponible por el sistema. El sistema portátil presenta la posibilidad de ser una alternativa viable, para extender su aplicación en otros análisis como determinación de concentraciones de algún componente de la cerveza, partiendo de la repetitividad y de su calibración en distintas condiciones y comportamientos que se obtenga de la misma.

4.2.5 Conclusiones de la actividad de investigación 5; Determinación de disoluciones en líquidos mediante sistema FA portátil

El sistema Fa portátil puede utilizarse en medios donde las soluciones líquidas presenten algún tipo de coloración o pigmento que sea detectable por el propio sistema, una vez cumpliendo este requisito, se pueden determinar concentración ¿es de pigmentos, o disoluciones, como la cerveza, jugos vino etc., ya que muestra un patrón de equivalencia entre la intensidad de la señal FA respecto del nivel de disolución de componentes en la muestra, en este caso las que mayor mostraron ese comportamientos fueron las longitudes de onda de 414 nm y 457 nm por parte de las 527 fue poco el cambio y por parte de la radiación en 656 nm no se notó ningún cambio. Esto depende del tipo de solución que se ingrese para su análisis, en el cual pude expandirse a otros líquidos ya sean de carácter biológico o no como bebidas, combustibles, etc.

4.3. Conclusiones generales

Como se menciona en el capítulo tres y capítulo uno la importancia de generación tecnológica radica en un incremento en todos los aspectos de la cadena de generación de recursos técnicos y de investigación, para el caso del presente trabajo la importancia en la contribución tecnológica.

Los resultados obtenidos de las actividades de investigación desarrollada dan como pauta para tener un marco de referencia de cuál sería la mejor alternativa de estudio respecto de las posibilidades de dispositivos fotoacústicos portátiles, de tal manera que se obtiene que el sistema puede ser utilizado, en muestras líquidas, para ello la intensidad de radiación debe de ser lo suficiente mente grande para poder estimular a la muestra, de esto que los dispositivos LED de alta intensidad propuestos pueden otorgar dicha estimulación en este caso podría substituirse por otro en longitud de onda más corta que quede en el rango de UV, ya que para esos casos la UV la han trabajado en muestras de carácter biológico ya que en estos rango existen ciertas substancias como las de carácter biológico que por ser en el caso transparente u ópticamente transparente, la estimulación para poder generar el efecto fotoacústico de manera directa resulta con más dificultad, que de manera de modo de transmisión para líquidos que tienden a ser transparentes

Sin embargo como se describió, en la actividad uno se puede tener un comportamiento similar y en el caso de la muestras del estudio de cerveza se pueden sacar parámetros semejantes de absorción y además la respuesta en frecuencia revela comportamientos que se esperaban como los tiempos de relajación diferentes para diferente densidad en el caso de su posible utilización en un ser vivo ya sea animales o personas, afortunadamente con el respaldo que conlleva al incremento en el conocimiento la comprensión más profunda de la técnica y los posibles alcances se tiene hasta ahora se obtuvo, lo que resulto en que se pueden desarrollar y mejoras técnicas y procesos con sistemas alternativos de medición que pueden ir evolucionando en tal caso el sistema puede sacar los mismos parámetros que la espectroscopia FA convencional así como otras técnicas de estudio, proporcionando una herramienta capaz de poder distinguir y estudiar substancias de distinta índole como bebidas y productos alimenticios.

Tabla 4.1 Tabla de congruencia de investigación desarrollada (elaboración propia 2018)

Objetivo General

Colaborar con una visión sistémica en la caracterización de biomateriales mediante sistemas tecnológicos alternativos portátiles.

Se desarrolló un sistema FA de medición portátil, que ha sido evaluado con muestras de comparación, y se continúa trabajando para obtener caracterización de biomateriales

Objetivo particular 1

Analizar y diagnosticar el problema

Se estableció el contexto que permitió ubicar la problemática en el mundo real para justificar el proyecto de tesis y junto con la revisión de literatura referente a la problemática en México.

Objetivo particular 2

Definir el marco contextual para el desarrollo del proceso de investigación a partir de una visión sistémica.

Dentro de la revisión de literatura se encontraron indicios de avances relacionados con la investigación presente, aunque no la misma naturaleza como lo que se ha propuesto

Objetivo particular 3

Demostrar que un sistema fototérmico portátil permite llevar a cabo la caracterización de biomaterial

Se continúa trabajando en esta actividad para poder satisfacer este objetivo

Objetivo particular 4

Obtención de características particulares de los materiales analizados en relación a los parámetros térmicos y ópticos de las muestras.

Se continúa trabajando en esta actividad para poder satisfacer este objetivo, fortaleciéndose los posibles resultados con las actividades de investigación previa

Objetivo particular 5

Emplear técnicas de manufactura alternativa.

Se empleó manufactura de impresión 3D, con el aumento de las herramientas y conocimiento que involucra su proceso

Objetivo particular 6

Contribuir en el desarrollo tecnológico del país

Se ha obtenido una participación de derechos de autor, y en espera del título de patente, a partir del sistema FA portátil desarrollado

Hipótesis

- a. El empleo de la técnica fotoacústica con equipo portátil no convencional puede ser adecuada para caracterizar biomaterial. : Trabajo en proceso
- b. Las diferencias en el espectro de absorción entre el biomaterial utilizado, podrían ser detectadas mediante la técnica fotoacústica con equipo alternativo portátil : trabajo en proceso

c. Se pueden obtener versatilidad en diseño, manufactura y mejora en la generación de dispositivos, empleando técnicas modernas de manufactura.: el empleo de nuevas técnicas de desarrollo permite acelerar los tiempos de entrega de resultados pudiéndose obtener mejoras en diseño y tiempo.

Características de la Investigación

El desarrollo de la investigación se basa en una perspectiva sistémica transdisciplinaria por medio de una investigación de campo, la investigación documental e investigación experimental

5 REFERENCIAS

Al-asfoor, F. K. M., Yunus, W. M. M., Zakaria, A., Moxsin, M. M., Ridha, N. J., & Josephine, L. Y. C. (2008). Thermal effusivity measurement of virgin coconut oil-methanol mixtures using photoacoustic technique. *Am. J. Engg. & Applied Sci*, 1(3), 200-203.

Barrientos-Sotelo, V. R., Cano-Casas, R., Cruz-Orea, A., Hernández-Rosas, F., & Hernández-Rosas, J. (2015). Photoacoustic Characterization of Green, Red and Dehydrated Capsicum annum L. variety Pasilla. *Food Biophysics*, 10(4), 481-486.

Balderas-Lopez, J. A., & Mandelis, A. (2002). Novel transmission open photoacoustic cell configuration for thermal diffusivity measurements in liquids. *International Journal of Thermophysics*, 23(3), 605-614.

Balderas-Lopez, J. A., Gutiérrez-Juárez, G., Jaime-Fonseca, M. R., & Sánchez-Sinencio, F. (1999). Measurements of thermal effusivity of liquids using a conventional photoacoustic cell. *Review of Scientific Instruments*, 70(4), 2069-2071.

Bell, A. G. (1880). On the production and reproduction of sound by light. *American Journal of Science*, (118), 305-324.

Bonno, B., Laporte, J. L., & D'Leon, R. T. (2005). Measurement of thermal properties of gases using an open photoacoustic cell as a sensor. *Review of scientific instruments*, 76(9), 096104.

Castro, M. P. P., Andrade, A. A., Franco, R. W. A., Miranda, P. C. M. L., Stel, M., Vargas, H., ... & Baesso, M. L. (2005). Thermal properties measurements in biodiesel oils using photoacoustic techniques. *Chemical Physics Letters*, 411(1), 18-22.

Dominguez-Pacheco, A., Hernández Aguilar, C., Zepeda Bautista, R., Martínez Ortiz, E., & Cruz-Orea, A. (2012). Análisis térmico de semilla de maíz con plaga por microscopía fotopieléctrica. *Superficies y vacío*, 25(2), 92-96.

González, M. G., Santiago, G. D., Slezak, V. B., & Peuriot, A. L. (2007). Simple synchronic detection at audio frequencies through a PC sound card. *Review of Scientific Instruments*, 78(5), 055108.

Gordillo Delgado, F., Zarate Rincon, F., & Mejia Morales, C. (2012). COMPARISON BETWEEN CONVENTIONAL AND ORGANIC RICE USING PHOTOACOUSTIC TECHNIQUE. *Dyna*, 79(174), 7-13.

Marín, E. (2008). Escuchando la luz: breve historia y aplicaciones del efecto fotoacústico. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(2), 17.

Mejía, P. A., Ábrego, N. P., González, M. M., Orea, A. C., & Pérez, J. L. (2012). Aplicaciones biofísicas de la fotoacústica. *Investigación en Discapacidad*, 1(2), 90-94.

Mitchell, A. J., González, M. G., Santiago, G. D., Zajarevich, N. M., González, F., Peuriot, A. L., & Slezak, V. B. (2008, November). ESPECTRÓMETRO FOTOACÚSTICO SIMPL

E PARA DETECCIÓN DE GASES EN MEZCLAS MULTICOMPONENTES. In *ANALES AFA* (Vol. 20, No. 1).

Pardini, P. A., Iriarte, D. I., Pomarico, J. A., & Ranea-Sandoval, H. F. (2014, November). TÉCNICA FOTOACÚSTICA EN MEZCLAS BINARIAS DE LÍQUIDOS. RECONSTRUCCIÓN DE LA SEÑAL Y PROPIEDADES TERMODINÁMICAS EN EXCESO. In *ANALES AFA* (Vol. 25, No. 4).

Rabasović, M. D., Nikolić, M. G., Dramićanin, M. D., Franko, M., & Markushev, D. D. (2009). Low-cost, portable photoacoustic setup for solid samples. *Measurement Science and Technology*, 20(9), 095902.

Rocha, A., Sthel, M., Castro, M., Peres, V., Mothe, G., Brasil, L., & Vargas, H. (2012). Detection of Ethylene Emitted by Diesel-biodiesel Engine Using CO² Laser Photoacoustic Sensors. *Applied Physics Research*, 4(3), 16.

Rosencwaig, A., & Gersho, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47(1), 64-69.

Rosencwaig, A. (1978). Theoretical aspects of photoacoustic spectroscopy. *Journal of Applied Physics*, 49(5), 2905-2910.

Santiago, G. D., González, M. G., Peuriot, A. L., González, F., & Slezak, V. B. (2006). Blue light-emitting diode-based, enhanced resonant excitation of longitudinal acoustic modes in a closed pipe with application to NO₂. *Review of scientific instruments*, 77(2), 023108.

Santiago, G., Slezak, V., & Peuriot, A. L. (2003). Resonant photoacoustic gas sensing by PC-based audio detection. *Applied Physics B*, 77(4), 463-465.

Schramm, D. U., Sthel, M. S., Da Silva, M. G., Carneiro, L. O., Junior, A. J. S., Souza, A. P., & Vargas, H. (2003). Application of laser photoacoustic spectroscopy for the analysis of gas samples emitted by diesel engines. *Infrared physics & technology*, 44(4), 263-269.

Scholz, L., Perez, A. O., Knobelspies, S., Wöllenstein, J., & Palzer, S. (2015). MID-IR LED-based, Photoacoustic CO₂ Sensor. *Procedia Engineering*, 120, 1233-1236.

Starecki, T. (1993). Concept of virtual instruments applied in photoacoustic measurements. *Review of scientific instruments*, 64(7), 2033-2034.

Szabó, A., Mohácsi, Á., Tuboly, E., Erös, G., Boros, M., & Szabó, G. (2013). P4-Portable Photoacoustic Methane Sensor for Medical Research. *Proceedings OPTO 2013*, 95-98.

Wong, K. Y. (1978). Signal enhancement in photoacoustic spectroscopy on powder samples. *Journal of Applied Physics*, 49(6), 3033-3035.

Zeng, L., Liu, G., Yang, D., Ren, Z., & Huang, Z. (2008, December). Design of a portable noninvasive photoacoustic glucose monitoring system integrated laser diode excitation with a annular array detection. In *Photonics and Optoelectronics Meetings* (pp. 72802F-72802F). International Society for Optics and Photonics.

Alcantara, M. G. (2008). La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la interdisciplinariedad. *Sapiens*, 9(1), 93-107.

Bell, A. G. (1880). On the production and reproduction of sound by light. *American Journal of Science*, 305-324.

Elices, C. M. (2000). *Structural Biological Materials: Design and Structure-Property Relationships*. Elsevier Science.

Gigch, J. P. (2001). *Teoría general de sistemas*. Mexico: Trillas.

Hernández, Á. M., Gutiérrez, J. P., & Reynoso, N. N. (2013). Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. *Salud Pública de México*, 129-136.

INEGI. (2016). *Número de habitantes INEGI*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>

OMS. (2011). *Informe sobre la situación de las enfermedades no transmisibles 2010*. Ginebra.

Rincón, S. I. (2012). Investigación Científica y Tecnológica como Factores de Innovación. *Entelequia*, 127-147. *Entelequia*, 127-147.

Rosencwaig, A. (1975). Photoacoustic Spectroscopy of Solids. *Physics Today*, 23-30.

Rosencwaig, A., & Gersho, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47-64.

Schubert, E. f. (2003). *Light-Emitting Diodes*. New York: Cambridge University Press.

UNAM. (2016). *UNAM - Facultad de Ingeniería*. Obtenido de Biometría Informática: <http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/biometria/basesteoricas/reconocimiento.htm>

Von Bertalanffy, L. (1968). *Teoría General de los Sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. Nueva York.: George Brazill.er.

https://www.cmedia.com.tw/products/USB20_FULL_SPEED/CM108B

<http://www.ni.com/data-acquisition/esa/>

<http://www.gob.mx/impdi/documentos/coleccion-guia-de-usuarios>: 28 de enero de 2016

(OMS, 2018) <http://www.who.int/healthinfo/survey/whoqol-qualityoflife/en/>

(OMS, DOF, 2016). Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

LINEAMIENTOS para el otorgamiento de licencias de paternidad por nacimiento, por adopción y por cuidados de salud, para el personal que labora en la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano y su Órgano Administrativo Desconcentrado.

(OMS, 2018). http://www.who.int/topics/risk_factors/es/

(DEL, 2017). <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=epidemia>

Wiener, N. *Cibernética y Sociedad*. Editorial Sudamericana. Buenos Aires. 1979. (N.Wiener.1979).

Oxford University Press <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/ciencia>

(UA, 2016) (Universidad de los Andes, 2016) <https://design.uniandes.edu.co/pregrado/que-es-diseno/>

Arnold Cathalifaud, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio*, (3)

Takeuchi, N. (2012). *Nanociencia y nanotecnología: La construcción de un nuevo mundo átomo por átomo*. Fondo de Cultura Económica.

María A. Vaquerizo (2016) Ciencias aplicadas a la actividad profesional 4º ESO. EDITEX. Pag 74

(Adobe, 2017)
https://help.adobe.com/es_ES/ActionScript/3.0_ProgrammingAS3/WS5b3ccc516d4fbf351e63e3d118a9b90204-7fc8.html

Van Gigch, J. P. (1993). Teoría General de Sistemas. México: Trillas. (3a reimpresión),

Van Gigch, J. P. J. P. (1987). Teoría general de sistemas. Trillas.

Ramírez, E. V. (1986). Introducción a los microprocesadores: equipo y sistemas. RWM Online.

Pavón, S. A. (2012). Impacto de la Ciencia y la Tecnología (Vol. 21). Secretaría de Educación Pública.

(NATURE, 2017). NATURE.COM <https://www.nature.com/subjects/biomaterials>

Amanda Correa de Urrea, Angélica Álvarez atehortúa y Sonia Correa, la visión sistémica: un referente para la gestión educativa Por:

ValderramaFundación Universitaria Luis Amigó Transversal Medellín Colombia, www.funlam.edu.co

Nicolescu, Basarab (2008). Teoremas poéticos (fragmentos) (Trad. Celso Medina). En Revista Investigación y Educación. Año V. N° 9 pp. 43-59. Maturín. UPEL

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación.

Pérez Sanchez, A. M. (Febrero de 2012). La metrología y su necesidad. *e-media, revista española de metrología*.

Carlos Nieto de Castro (University of Lisboa, Portugal), Keynote Lectures. The 11th Asian Thermophysical Properties Conference.

“Thermophysical Properties Measurement Science - Which Future?”

(Elices, 2000) Elices, C. M. (2000). Structural Biological Materials: Design and Structure-Property Relationships. *Elsevier Science*.

Douglas, S. K. O. O. G., Stanley, C., & James, H. (2008). Principios de análisis instrumental. *Cengage learning/Thompson Internacional*.

(RAI, 2012) Real Academia de Ingeniería <http://diccionario.raing.es/es/lema/analito>

(SEP, 2015) investigación científica y desarrollo tecnológico: diagnóstico 2015, SEP https://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/6300/1/images/e021_diagnostico_201

Mateos, 2016 ¿Hacia dónde va la ciencia en México.htm? José Luis Mateos Trigos, investigador del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Andrew O. Urevbu 1977, departamento de psicología de la educación y análisis de planes de estudio en la Universidad de Benin (Nigeria), <://unesdoc.unesco.org/images/0010/001056/105615Sb.pdf>

(OpenMind-BBVA, 2016) Cómo la cultura determina el desarrollo tecnológico

OECD <http://www.oecd.org/centrodemexico/estadisticas.htm>

OECD <https://data.oecd.org/eduatt/population-with-tertiary-education.htm#indicator-chart>

Unión europea, Comprender las políticas de la Unión Europea: Investigación e innovación Bélgica, 2016

(UE, 2016) https://europa.eu/european-union/topics/research-innovation_es

MIT technology review, 18 cambios exponenciales que nos esperan en 2018 <https://www.technologyreview.es/s/9905/18-cambios-exponenciales-que-nos-esperan-en-2018>

Özge Akbulut, 2017 Revista OMPI, Soluciones inteligentes para los desafíos mundiales: la misión de una inventora Catherine Jewell, División de Comunicaciones de la OMPI

ONU 2000, Programa 21: Capítulo 6 protección y fomento de la salud humana <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter6.htm>

WIPO 2017 Classification Del Índice Global de Innovación, 2017 The Global Innovation Index 2017 Innovation Feeding the World TENTH EDITION http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2017.pdf

Banco mundial (BM, 2013). Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas) <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.SCIE.RD.P6?end=2013&locations=MX&start=2013&view=map>

Historia de3 platon, instituto de matematicas UNAM *J. J. O'Connor y E. F. Robertson*

<https://paginas.matem.unam.mx/cprieto/biografias-de-matematicos-p-t/225-platon>

ev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp) Vol. 100, N°. 1, pp 1-12, 2006 VI Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica COMPUTACIÓN FÍSICA Y MATEMÁTICA EN JOHN VONNEUMANN

(28-XII-1903, 8-II-1957)MANUEL LÓPEZ PELLICER

BIOGRAFIAS, Universidad de Murcia
<http://www.um.es/docencia/barzana/BIOGRAFIAS/Biografia-Claude-Shannon-ingles.html>

<http://www.ams.org/notices/200201/fea-shannon.pdf>

Claude Elwood Shannon (1916–2001) Solomon W. Golomb, Elwyn Berlekamp, Thomas M. Cover,

Robert G. Gallager, James L. Massey, and Andrew J. Viterbi NOTICES OF THE AMS
VOLUME 49, NUMBER 1

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.

NICOLESCU, Basarab. Una nueva visión del mundo Transdisciplinariedad. Del libro Transdisciplinarity. Ediciones del Rocher

Harvey, P. L., & Lemire, G. (2001). *La nouvelle éducation: NTIC, transdisciplinarité et communautaire*. Presses Université Laval.

Checkland, P. (1981). Systems thinking, systems practice.

<http://www.ingenieria.unam.mx/javical/planeacion/CalgarySSM/globalSSM.html>

Wiener, N., & Wiener, N. (1981). Cibernética y sociedad (No. 001.53 W5).

Alamo, O. N. (2009). Tecnologías de información y comunicación. *La redefinición de las dimensiones espacio-tiempo. XIII Jornadas nacionales de investigadores en comunicación*.

multiversidad mundo real, <http://www.multiversidadreal.edu.mx/mensaje-edgar-morin.html>

Dana, K., Shende, C., Huang, H., & Farquharson, S. (2015). Rapid Analysis of Cocaine in Saliva by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 6(6), 1.

6 ANEXOS

6.1 Calidad Alimentaria

6.1.1 Contexto de la cerveza

La cerveza es una bebida elaborada desde hace miles de años originaria de la cultura mediterránea clásica, vinculada desde la antigüedad a fines terapéuticos, donde las primeras referencias históricas, datan desde hace 6.000 años; en la actualidad la cerveza es una de las bebidas alcohólicas altamente preferidas en todo el mundo; esta bebida se elabora principalmente con ingredientes como la levadura, el agua, el lúpulo y la cebada malteada, y en algunas ocasiones con carbohidratos fermentables de varios tipos como, el arroz, el trigo, el maíz, etc. se agregados para producir diferentes tipos y sabores(CICS, 2018).

Esta bebida representa el 75% de la cuota del mercado global de bebidas alcohólicas, siendo los principales mercados del mundo India, China, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Alemania y México. Donde China es el principal productor de cerveza (Zion Market Research, 2017).

Respecto al consumo cervecero, Europa se consolida como el continente con mayor consumo per cápita anual de esta bebida, siendo los siguientes tres países los líderes en este ramo: la República Checa (137 L), Polonia (98.06) Alemania (95.95 L); como lo muestra la Figura 6.1, adicionalmente México cuenta con un consumo estimado per cápita de 62 L.

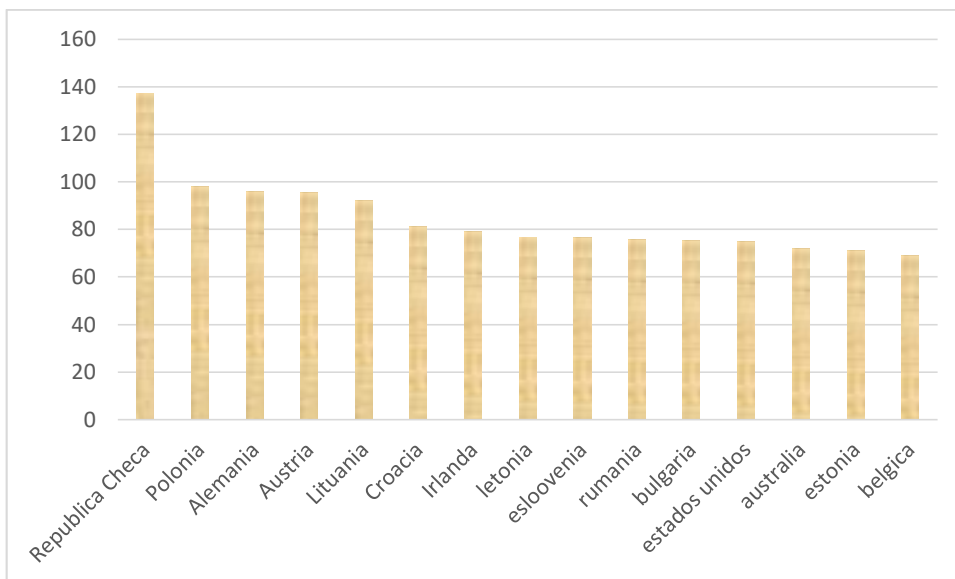


Figura 6.1. Consumo de cerveza per capita, principales países de acuerdo a STATISTA (2017). Elaboración propia (2018)

La introducción de la cerveza al territorio mexicano se remonta a veinte años después de la caída de la antigua Tenochtitlán cuando se fundó en la Nueva España la primera fábrica de cerveza del continente americano llamada “El Portal”, que se encontraba entre Amecameca y Paso de Cortés; convirtiéndose en una de las bebidas tradicionales que contienen alcohol más famosa (Krammer y Reyna, 2012). Posteriormente, en 1542, el emperador Carlos V suscribió una cédula que concedía un permiso para un establecimiento cervecero (Consejo de Investigación sobre Salud y Cerveza de México, A.C, 2018)

La elaboración de cerveza en México representa 29.3% de la producción bruta total de la industria de las bebidas, siendo la segunda actividad económica más importante dentro de ella y se ubica entre las 14 actividades más importantes de la producción manufacturera, de un total de 291 clases de actividad, después de la refinación de petróleo, la fabricación de automóviles y camionetas, la producción de petroquímicos básicos del gas natural y del petróleo refinado, la industria farmacéutica y la elaboración de alimento para mascotas (INEGI-CE, 2014).

México ha crecido en cuanto a la producción a nivel global de esta bebida, es el cuarto productor a nivel mundial con 105 millones de hectolitros al año; del total de las

exportaciones de cerveza del mundo, México participó con 21.3% siendo el país exportador de cerveza más importante a nivel internacional, este primer lugar se mantiene desde 2010 y el cuarto en producción de cerveza sólo después de China, Estados Unidos y Brasil. (International Trade Centre, 2016) (Cerveceros de México, 2017).

La distribución respecto al valor total de producción de la cerveza se ubica con que la principal forma de envasado de la cerveza es en lata, seguido de la cerveza en botella no retornable con un porcentaje de envasado en lata de 36.3%, en botella no retornable 35.0 % y en botella retornable 28.7% (INEGI. EMIM, 2016).

Las importaciones de cerveza provienen principalmente de Estados Unidos de América con cifras aproximadas de 243 millones de litros. En conjunto, las importaciones totales de cerveza que provienen de Estados Unidos de América 96%, Bélgica 1.9%, Países Bajos 0.8% y Alemania 0.5% que sumaron el 99.2% de las importaciones totales que realizó México en 2016. (SAT, SE, BANXICO, INEGI, SNIEG, 2017).

Correspondientemente dentro de las preferencias de bebidas alcohólicas en el mercado mexicano respecto del total, sus porcentajes de consumo se pueden ver en la Figura 6.2, se tiene que la cerveza es la preferida por encima del tequila, el vino entre otros.

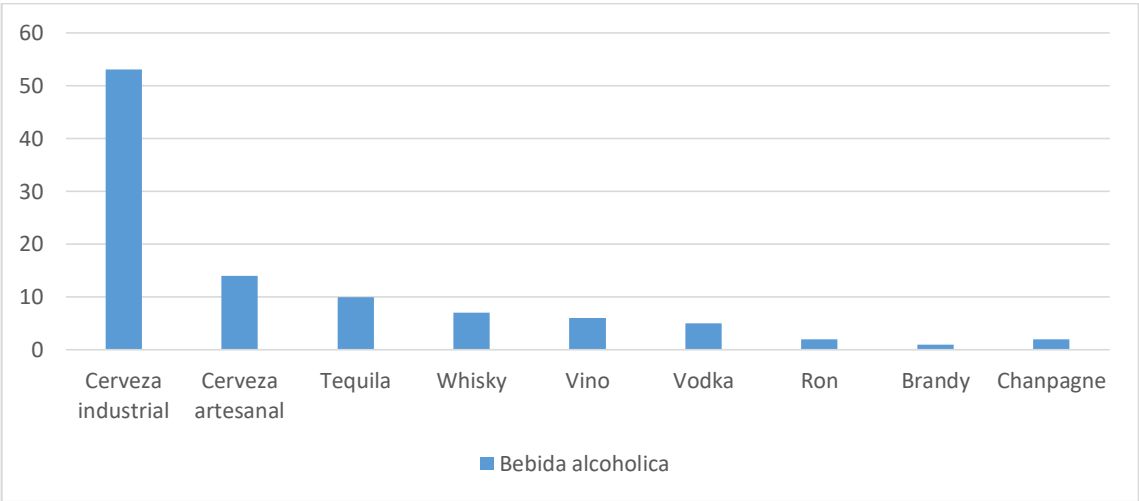


Figura 6.2. Distribución del consumo de bebidas alcohólicas en México (Deloitte y Euromonitor International. Alcoholic drinks in Mexico, 2016)

Dentro de las producciones de cerveza, la cerveza artesanal se considera un producto sin químicos, ni conservadores y granos bien seleccionados; catalogada como una bebida rica en nutrientes y en algunos países considerada como un alimento. (La Cerveza Artesanal 2016-2017, ACERMEX, 2017), las preferencias del consumidor mexicano en cuanto al estilo de la cerveza artesanal por orden de importancia son: stout, porter, IPA, pilsner, y sour (Acermex-CEO Magazine, 2017).

La clasificación más general de estilos de cerveza es por tipo de levadura el cual es un fenómeno asociado a la elaboración de cerveza artesanal moderna. En la cual los cerveceros estadounidenses y la mayoría de los cerveceros artesanales llaman a sus cervezas ALES si utilizan levadura de fermentación alta (ale) y LAGERS, si utilizan levadura de fermentación baja (Lager). (GUÍA DE ESTILOS 2015-BJCP, 2015).

La mayoría de los sistemas de categorización también permiten una tercera clasificación, a menudo llamada de fermentación espontánea debido al método utilizado; sin embargo, salvaje es el término más ampliamente utilizado para cervezas fermentadas con bacterias o levaduras no-Saccharomyces; De la misma manera en Alemania y en otros centros de elaboración antiguos de cerveza del mundo, la terminología típicamente usada para diferenciar cervezas es referirse a ellas como de fermentación alta o fermentación baja. En general las cervezas LAGERS tienden a ser suaves, limpias y libres de ésteres y a menos que se indique lo contrario, se debe asumir que todas las lagers no tienen ningún carácter frutal (ésteres); las cervezas ALES tienden a ser menos suaves que las lagers y a menos que se indique lo contrario, se debe asumir que todas las cervezas ALES pueden tener algunos ésteres. (GUÍA DE ESTILOS 2015-BJCP 2015).

Para el proceso de fabricación de las cervezas en general se tiene en siguiente procedimiento descrito de la siguiente manera.

La malta o cebada malteada es una materia prima fundamental para la elaboración de la cerveza, influyendo de manera directa en la mayoría de sus características como son el cuerpo, sabor y aroma.

Almacenamiento de malta: Previo al almacenamiento en silos, a la malta tostada se le retira el germen y es sometida nuevamente a limpieza en máquinas tipo zaranda. Antes de su despacho hacia las cervecerías la malta debe someterse a un “periodo de reposo” en los silos, con el objeto de estabilizar sus características.

En la sala de cocimiento se definen las características principales que determinan la identidad de cada marca, según las materias primas seleccionadas y el proceso aplicado. El proceso se inicia con la molienda de la malta de cebada, etapa necesaria para liberar el almidón del interior del grano. El almidón aportado por la malta es transformado en azúcar fermentable gracias a varios cambios de temperatura. Posteriormente, el mosto (harina de la malta) dulce que contiene azúcar fermentable, proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales es separado de la cascara (de malta). El mosto es hervido, y durante este proceso el lúpulo se añade para darle el amargo y el aroma. En el proceso de maltaje, el grano de cebada se induce para que germine, mediante ello se logra una transformación de sus componentes haciéndolo apto para el proceso cervecero. Dicha transformación se desarrolla mediante los siguientes pasos:

Recepción, almacenamiento y limpieza de cebada

En esta etapa, la cebada es almacenada en silos, donde es sometida a un proceso de limpieza física mediante equipos tipo zaranda (para cernir) como un paso previo al proceso de maltaje.

Remojo: La cebada es sometida en tanques a inmersiones en agua seguidas de etapas de escurrido y succión de gas carbónico con el objeto de incrementar su humedad y a su vez activar el grano para la germinación. Durante las inmersiones se burbujea aire y durante la succión de gas carbónico se realiza una inyección de aire refrigerado para promover la respiración del grano.

Germinación: Este proceso consiste en someter el grano en condiciones que promuevan de manera controlada su respiración (bajas temperaturas y flujo de aire).

Tostación: En esta etapa se somete el grano germinado al contacto con aire caliente para ajustar su contenido de humedad, desarrollar el color, aroma y sabor de la malta.

Fermentación y maduración: Cuando el mosto se fermenta, la levadura transforma los azúcares del mosto en alcohol y gas carbónico, contribuyendo al aroma y sabor de la cerveza. Al final de este proceso se obtiene la “cerveza verde”, llamada así porque aún no ha alcanzado su punto ideal de maduración para su consumo; para lograrlo, se requiere mantener la cerveza en tanques con temperaturas bajo cero grados. Por efecto del tiempo y del frío, el sabor y el aroma se refinan y se obtiene un producto más estable.

Filtración: Finalmente, es necesario estabilizar y otorgar esa apariencia limpia y clara a la cerveza. A través del proceso de filtración, se separan las levaduras y otros sólidos. Durante este proceso, se ajustan las cantidades de gas carbónico (CO₂). Luego de este procedimiento aparece por fin la cerveza brillante que todos conocemos.

Envasado: La cerveza se envasa en botellas de vidrio, latas de aluminio y barriles de acero inoxidable. Por ser un producto natural, a la cerveza no se le adicionan preservantes y para garantizar su estabilidad microbiológica se pasteuriza. Finalmente, todos los envases se rotulan según la marca. (ABInveb- Bavaria, 2018).

6.2.1. Proceso de patentamiento

Una invención es toda creación humana que permite transformar la materia o la energía existente en la naturaleza para el aprovechamiento para el hombre y satisfacer sus necesidades concretas. (IMPI, 2016).

Para el proceso de generación de una patente a lo largo del tiempo son los siguientes procedimientos indicados en las Figura 6.3. a la Figura 6.5

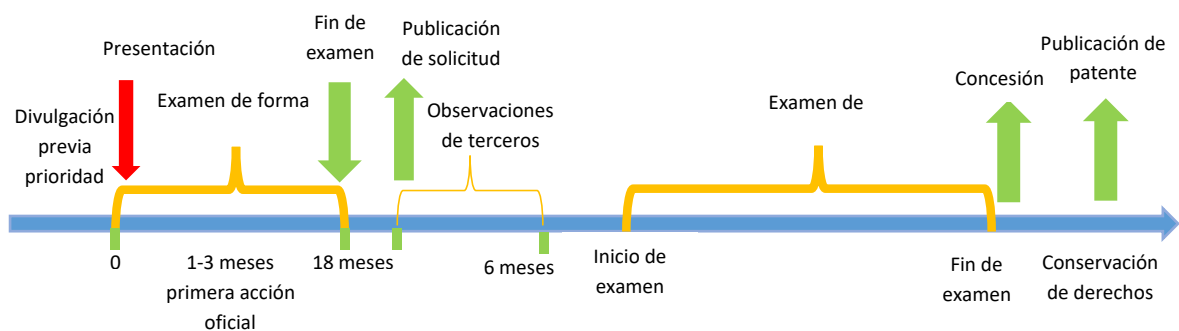


Figura 6.3. Proceso de generación de una patente

El proceso de generación de una patente a lo largo del tiempo con el procedimiento de concesión de patentes en el programa de procedimiento acelerado de patentes (PPH) para solicitud internacional es el siguiente

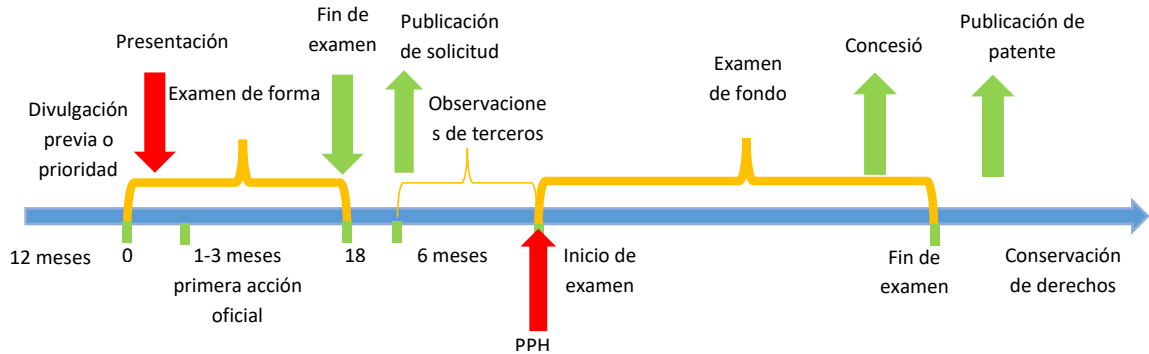


Figura 6.4. Proceso de generación de una patente con PPH

Para el proceso de generación de un modelo de utilidad es el siguiente procedimiento

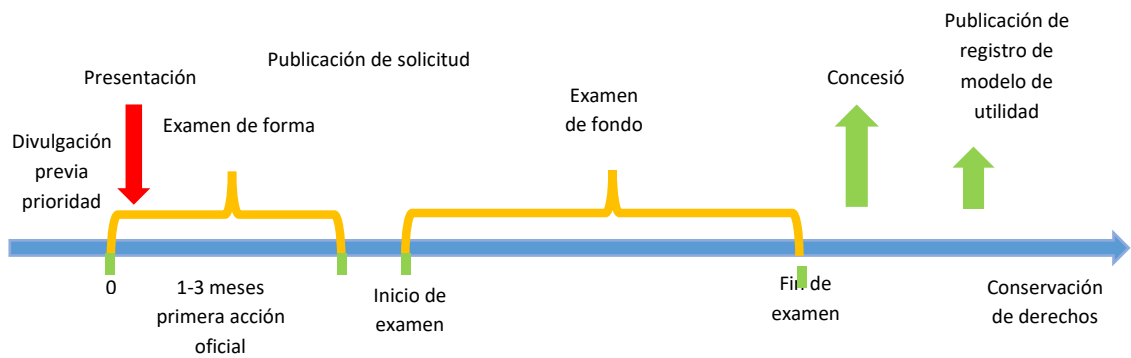


Figura 6.5. Proceso de generación de un modelo de utilidad

Documentos básicos para la presentación de solicitudes (IMPI, 2017):

*Descripción

*Reivindicaciones

*Resumen de la invención

*Dibujo (s) técnico (s), en caso de ser necesario (s); para la comprensión de la invención *

Listado de secuencias, en caso de que la invención así lo amerite.

Descripción

La función primordial de la descripción es divulgar la invención, suficientemente completa y clara para cumplir con los propósitos: de que sea posible evaluar la invención, y “poder guiar su realización por una persona que posea pericia y conocimientos medios en la materia”. Ya que esta sirve de fundamento a las reivindicaciones.

Donde la descripción de igual manera se conforma por: campo técnico, antecedentes (estado de la técnica), descripción de la invención, descripción de las figuras (haciendo referencia de ellas y de las distintas partes que estén constituidas) y mejor método conocido para realizar la invención.

Un dibujo es la expresión gráfica que ayuda a describir y comprender mejor una invención; los dibujos son obligatorios cuando sean necesarios para comprender la invención. Para dar claridad a la invención, pues estos en general son necesarios para comprender las invenciones en estos campos, para los modelos de utilidad siempre es obligatorio presentar los dibujos o figuras

El punto clave de una reivindicación consiste en definir la invención, indicando sus características técnicas, precisando el alcance de la patente o modelo de utilidad; deberán sustentarse enteramente en la descripción. Las reivindicaciones deberán delimitar claramente la invención respecto al estado de la técnica o tecnología anterior. Finalmente el resumen de un documento de patente o modelo de utilidad es un enunciado breve y conciso de su desarrollo técnico, deberá ser una herramienta útil y eficiente en la búsqueda de información en un campo particular de la técnica.



PHOTOACOUSTIC PORTABLE SYSTEM FOR LIQUID SAMPLES USING LEDs



Carrasco-Pacheco M.^{1,2}, Domínguez-Pacheco A.^{1,2*}, Hernández-Aguilar C.¹, Cruz-Orea A.¹

¹ Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional Edificio 5, U. P. Adolfo López Mateos, C.P. 07730, México D.F., México

² Departamento de Física, CINVESTAV-IPN, A. P. 14-740, México D.F., C.P. 07360, México

* E-mail: mcarrascop1300@alumno.ipn.mx; ¹*fartur@Hotmail.com

1. INTRODUCTION

By using of personal computer systems (PC), have been reported portable instrumentations for the applicability of the Photoacoustic Spectroscopy (PAS) technique, replacing components that are usually used as amplification systems lock-in. Gonzalez et al. (2007) designed a system to replace the amplifier Lock-in. Mitchell et al. (2008) implemented system lock-in by PC for signal acquisition in combination with a laser light source of CO₂, applied to characterization of gases such as ethylene. Using other light source such as LEDs, Rabasovic et al. (2009) and Stramilo (1993) also photoacoustic spectroscopy was used at low frequencies emitted by LEDs (90-700) Hz at gases, making data acquisition via the audio input of a PC. Thus, in this research it was proposed as objective develop an automated and portable photoacoustic system at low cost for liquid samples using as light sources: LEDs (Light-Emitting Diodes) high intensity at wavelengths of visible range.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Four different samples hydrated chlorine methylene blue dissolved in distilled water in different concentrations were used; concentration 1 = 0.025 mg / 5 ml, 2 concentration = 0.25 mg / 5 ml, 3 = concentration 0.575mg / 5 ml, 4 = concentration 1mg / 5ml approximately each. Water in its different concentrations was evaluated by each of the equipment; a) Portable proposed photoacoustic system and b) open-cell system (Laboratory), the procedure was performed under a completely randomized design.

2.2 Experimental set Portable system

Photoacoustic technique (PA) was implemented in closed cell configuration, for use in measuring the signal for liquid materials was made. The built photoacoustic system consists of two components, the master cylinder and its bottom cover. As excitation sources were used which they were controlled LEDs by an electromechanical mechanism exchanging LED depending on the desired wavelength (color).

A control stage was developed, which is constituted by arrangements MOSFETS, IBT and voltage regulators for controlling power supplied independently to each of the four LEDs, the control signals for the LEDs and mechanisms motion come from a microcontroller (µc) ARDUINO Leonardo, to the stage of acquisition of the signals is an electronic and optoelectronic coupling between different components where the signal generated and captured by the microphone electret are transmitted to a low noise amplifier 40 db gain, for reference signal the electrical signal generated was taken by the control stage and coupled optoelectronic, both signals are captured by independent card USB audio and together components to a hub connected to a PC or LAP TOP by one USB connection, for this acoustic detection electret microphone of 5.7 mm diameter with an aperture of 1 mm was used; Control, capture and handling of the signals is implemented using software on the platform of MATLAB 2015b the design scheme shown in Fig 1 A, and the image of the prototype in Fig. 1 B.



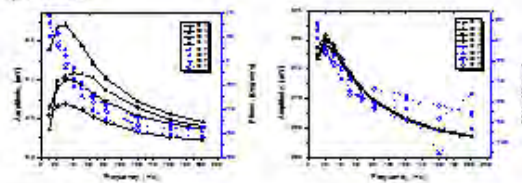
Figure 1 A) Schematic diagram of the prototype B) Image of the portable system- Experimental setup traditional open cell for photoacoustic technique was used as shown at Fig. 2.



Figure 2. Schematic of two open cell systems

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the measurements of each instrumentation handle can be observed in figures 3 and 4.



To evaluate the results, analysis of mean comparisons between the two systems (traditional and portable) were realized for the signals in amplitude and phase as a function of frequency. The curves were fitted, under the functions: a) $(A \times P1 \times f \times P2)$ and b) $(A \times 2 \times b \times c \times f)$ (see, Fig. 5 and 6).



Finally a comparison of the same device proposed at different wavelengths were realized using the sample Cl. The frequency was evaluated at the range of 20 to 200 Hz - it is possible observe in Fig. 7.

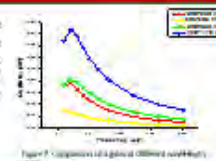


Figure 7. Comparison of a gas at different wavelengths

4. CONCLUSIONS

The results indicated that both instrumentations have the same behavior as a function of frequency for amplitude and phase.

5. ACKNOWLEDGMENT

We gratefully acknowledge the agencies of México, CONACYT through scholarships, the IPN by BEFI scholarship and academic training and CINVESTAV-IPN.

6. REFERENCES

1. Gonzalez, M., Domínguez-Pacheco, A., Hernández-Aguilar, C., Cruz-Orea, A. (2007) "Photoacoustic Spectroscopy (PAS) for the detection of gases using LEDs as light sources." *Optics & Lasers in Technology*, vol. 39, pp. 100-105.



CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 166, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CARRASCO PACHECO MARCO ANTONIO
CRUZ OREA ALFREDO
DOMINGUEZ PACHECO FLAVIO ARTURO
HERNANDEZ AGUILAR CLAUDIA

TITULO: SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL PARA EMULACION DE
AMPLIFICADOR SENSIBLE A FASE (LOCK-IN)

RAMA: PROGRAMAS DE COMPUTACION

TITULAR: INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO
83 DE LA LFDA, EN RELACION CON EL ARTICULO 46 DEL R.L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 169 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y datos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción II y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor, artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor, artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado:

Número de Registro: 03-2017-103010491500-01

México D.F., a 6 de noviembre de 2017

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ

CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA

INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

PROCESO FOTOACÚSTICO MULTILED PORTÁTIL PARA MUESTRAS LIQUIDAS

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

Esta invención recae en el campo de la electrónica, específicamente esta invención describe un sistema multiLED portátil para obtención de señal fotoacústica de muestras líquidas mediante fuentes de luz: LED (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad. Implementando una celda fotoacústica, en el que se depositan en un contenedor las muestras líquidas, modulando la luz proveniente de los LED y haciéndola incidir sobre la muestra para generar el efecto fotoacústico donde, la señal es capturada y procesada por un sistema informático.

ANTECEDENTES

La espectroscopia con fundamento en el fenómeno fotoacústico descubierto por Alexander G. Bell hace más de un siglo (Bell, 1880) fue el inicio del estudio de las técnicas fototérmicas, que se basan en la incidencia de energía luminosa de forma modulada sobre una muestra de estudio, esta energía es absorbida y parcialmente es convertida en calor, este calor es generado en forma de flujo periódico a partir de la muestra la que origina una onda térmica que se propaga y en el caso del fenómeno fotoacústico (FA) se convierte en ondas de presión generando sonido (Rosencwaig y Gersho, 1976; Rosencwaig, A., 1975).

Este tipo de análisis físico ha tenido auge como método de caracterización en el estudio de propiedades térmicas y ópticas para la aplicación de estudios en diferentes campos.

Siendo necesario generar más desarrollos tecnológicos con el empleo de las técnicas fototérmicas, en equipos de tipo portátil no convencionales, ya que se pueden emplear este tipo de herramientas de investigación principalmente en los países en vías de desarrollo, en lugares con recursos técnicos y económicos limitados. Donde los equipos utilizados actualmente continúan siendo costosos, con movilidad limitada y que se encuentran en centros especializados.

Actualmente existen algunos sistemas de análisis por medio de la técnica fotoacústica dentro de los que se puede mencionar: 1) el documento canadiense CA1036383 “Method and means for analyzing substances” en el cual se implementa una fuente de energía de magnitud variable que viene dada por un dispositivo monocromador y un modulador electromecánico donde la luz proviene de una fuente de luz de amplio espectro o una fuente de energía monocromática, e irradia a una sustancia que se prueba, y en una cantidad suficiente para producir variaciones detectables en un fluido circundante al entorno de la muestra, produciendo señales eléctricas correspondientes a las variaciones detectadas y donde una pantalla indica la intensidad de las señales eléctricas a las diferentes frecuencias de energía.

2) La solicitud de patente alemana DE2927432 “Photo-acoustic spectrometer for solid and liq. samples - has connected gas-filled reference and sample chambers” que divulga un espectrómetro fotoacústico con una fuente de luz de rango definido interrumpido periódicamente, implementado mediante una cámara de referencia.

Por otro lado, 3) la solicitud de patente US2014005537 “Photoacoustic Measurement Device” proporciona las enseñanzas para la construcción de un dispositivo de medición para obtención de imágenes fotoacústicas que emplea la técnica fotoacústica en conjunto con la técnica de obtención de imágenes por ultrasonido.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Vista isométrica del sistema portátil FA de la estructura de la invención.

Figura 2. Vista isométrica explosionada de los componentes internos que corresponden a los elementos que constituyen la invención.

Figura 3. Vista lateral del armazon del sistema.

Figura 4. Vista a detalle del conjunto óptico de radiación.

Figura 5. Vista a detalle del corte transversal del conjunto óptico de radiación.

Figura 6. Vista a detalle de la componente superior de la celda fotoacústica.

Figura 7. Vista a detalle del corte transversal de la componente superior de la celda fotoacústica.

Figura 8. Vista a detalle de la componente inferior de la celda fotoacústica para modo de transmisión.

Figura 9. Vista a detalle del corte transversal de la componente inferior de la celda fotoacústica para modo de transmisión.

Figura 10. Vista a detalle de la componente inferior de la celda fotoacústica para modo directo.

Figura 11. Vista a detalle del corte transversal de la componente inferior de la celda fotoacústica para modo directo.

Figura 12. Vista aislada del soporte de la celda fotoacústica.

Figura 13. Vista aislada del soporte de sujecion para los dispositivos de radiacion LED.

Figura 14. Vista aislada del mecanismo de posicionamiento angular y horizontal para la seleccion de las fuentes de radiacion LED.

Figura 15. Vista aislada del mecanismo de posicionamiento vertical para la seleccion de las fuentes de radiacion LED.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención que se muestra en la Figura 1; se refiere a un Sistema Multiled Portátil para la obtención de la absorción y transmisión de luz en líquidos como función de la frecuencia de modulación de la excitación y la longitud de onda radiante incidente basada en la generación y obtención de señal fotoacústica (1), mediante la interpretación de la intensidad y fase de la señal fotoacústica, en una similitud de espectroscopia convencional con división monocromática de la luz; en una implementación compacta y para uso de líquidos directamente, que funciona con base en las propiedades de absorción térmicas y ópticas de las muestras líquidas; los componentes internos del sistema se pueden apreciar en la vista explosionada de la Figura 2 en que el sistema se compone principalmente por un armazón metálico (23) el cual comprende el área superior (232) donde se localizan; la unidad de captura de señal eléctrica y conversión a señal USB (16); concentrador de señales USB (17); un circuito de acoplamiento de señales acústicas y; un preamplificador (15) para; un par de micrófonos electret (6) y (33); un mecanismo electromecánico de movimiento y selección de radiación vertical-angular (9) en el que se encuentra acoplado un soporte para los; LED de radiación (8) y; un mecanismo de movimiento vertical (10); unidos a un; armazón con una articulación (19) para ejercer con él un grado de libertad, unida a un; soporte (18), en la parte inferior del; armazón (231) se encuentran alojados unos; dispositivos de acoplamiento de señal de referencia de fase (12) una etapa de control con un; microcontrolador (13); una etapa de potencia (20) con su; área de disipación de calor, un soporte aislante para la; celda fotoacústica (7) en la cual vienen acopladas las correspondientes partes que integran al; conjunto óptico de radiación (39); el componente superior de la celda fotoacústica (40); un componente inferior de la celda fotoacústica para modo de transmisión (41); un componente inferior de la celda fotoacústica para modo directo (42); los que tienen respectivamente subcomponentes que los constituyen y complementan.

El conjunto funciona como un sistema único capaz de ser transportado, conectado e implementado en cualquier sitio con superficie horizontal y plana, a través de un equipo de computadora personal o LAPTOP con conexión USB con la posibilidad de ejecutar un software complementario.

La figura 4 corresponde al conjunto óptico de radiación (39) y la Figura 5 la cual hace referencia al corte su trasversal; indican el ensamble del conjunto óptico (39), el conjunto óptico de radiación (39) en la parte superior se encuentra constituido por el soporte (25); del lente de enfoque superior (24); este se conecta por medio de tornillos de ajuste de punto focal (29) y las cuerdas de ajuste (391); al soporte (28); de lente de enfoque inferior (27) en el que se inserta el lente de enfoque inferior (27); para que sean envueltos por la carcasa de nivelación de lentes (26), sostenida por la entradas de los soportes (393), el conjunto permite enfocar la radiación luminosa provenientes de los LED de radiación (82) los cuales se insertan en la cavidad (390); en el cual la radiación se concentra en un primer punto que sale del lente de enfoque superior (24) para recorrer todo el espacio dado por la carcasa (26); y ser capturada por un segundo lente; el lente de enfoque (27); donde finalmente sale un haz de radiación luminosa focalizado, por la apertura (392).

La Figura 6, y Figura 7 (corte transversal), correspondientes a la componente superior de la celda fotoacústica (40) implementada, contempla en la parte superior un ventana de entrada de radiación (4), encapsulado a la cámara de cilindro metálico (2) de celda superior en la parte externa por una cubierta de sujeción (3) con una cuerda de apriete superior (403); además la cámara (2) de la celda fotoacústica (2) cuenta con una cavidad interna (402) donde se transmiten las ondas acústicas generadas por el material de estudio por medio del efecto fotoacústico, las ondas generadas son captadas por medio del micrófono electret (6) que se ensambla en la celda en la cavidad (407) transportándose las señales acústicas por el canal (260); el micrófono es sostenido y presionado por un retén (401), con un tornillo de purga (5), que se implementa al ejecutar el modo de transmisión.

De manera complementaria la sustancia a analizar puede someterse a dos distintos tipos de formas de análisis una de manera directa y otra en forma de transmisión, las cuales cada una tienen respectivamente sus complementos de celda fotoacústica.

Respecto del complemento de celda fotoacústica inferior para forma de transmisión (41) se muestra en la Figura 8 y su corte transversal en la Figura 9. El complemento está formado por una estructura de soporte (31) que se encarga de alojar al micrófono electret (33) donde su conexión se transmite por el canal (411); el micrófono se encuentra adherido y sellado en la cavidad (410); que funciona como una micro celda fotoacústica complementaria, en la cual

en la parte superior se encuentra enbuelta y sellada por un capuchon que se encuentra constituido por una capsula cilindrica que forman al contenedor (34) y en el centro por una membrana de delgada de metal (413), en la cual por la parte superior que forma de cuba (412); se deposita la sustancia liquida de analisis, este complemento de celda (41), se abre el tornillo de purga (5) se sostiene y aprieta por medio de la rosca de sujecion (30), se aprieta el tornillo de purga (5); quedando sellado por el Oring (32), que entra en contacto en la cavidad (402) de la componente superior (40).

La Figura 10 y la Figura 11 exponen a la componente inferior de la celda fotoacústica para modo directo (42), en donde en su parte central se encuentra la endidura (422) constituida por un material de soporte transparente de nylon (420), adherido al receptor de deposito (36); en la cual se coloca el contenedor (38) de la substancia de analisis; este componente (38) es a base de vidrio borocilicatado; el componente inferior de la celda para modo directo (42) tiene movilidad quitapon en forma que pueda ser desplazada y poderse insertar al componente superior de la celda fotoacústica (40) por medio de la rosca de sujeción (35) que empuja al receptor de deposito (36); en un movimiento horizontal angular y presionado para ejercer hermeticidad otorgada por el sello oring (37) en la union con el componente superior de la celda fotoacústica (40).

Existe un soporte (7) de soporte aislante para los componentes (40) y (39); que esta constituido por una cavidad contenedora (71) forrada por material aislante acústico en su parte interna (73) de igual manera en su parte inferior (74) hay un sosten del conjunto optico (39) y de la parte superior de la celda (40); interconectado por unos tornillos de extensión (14) que permiten sostenerlas en la parte central y realizar un aislamiento termico y acustico del resto de los componetes.

El soporte de los LED de radiación (8) tiene adherido los dispositivos LED (82) por medio de la conexión termica (81), este a su vez unido al soporte (8) el cual es de forma circular y permite la rotación de las fuentes LED, dependiendo del control ejercido por el soporte de posición horizontal y angular (9), estos dos componentes se unen a través de las conexiones (84) y (92) por elementos de sujecion, que pueden ser tornillos, para evitar el desbalanceo del soporte (8), se complementa la sujeción a través de los brazos de soporte (93) con el apoyo de las micro llantas de soporte (95) que generan fuerza de oposicion hacia el eje del

servomecanismo (91) que es el encargado del movimiento de selección angular del cuerpo del soporte de posición horizontal y angular (9), siendo sostenido en su parte trasera (94) por los soportes (19) en conjunto con la barra de soporte (18) que permiten un grado de libertad en forma horizontal; en el cual, el movimiento es ejercido por el mecanismo de movimiento vertical (10) en el cual por medio de los tirantes (11) conectados al eje (105) el cual se le transmite un movimiento vertical por la cuerda metálica de transmisión (102) que pasa por los micro rodillos (107) ejerciendo la acción de carrete y que ejerce una acción de tracción y elevación a través del eje (104) apoyándose el eje (105) en la guía de carrera (106), el sistema es accionado por el servomecanismo (101) permitiendo el movimiento angular al carrete (103)

El proceso de obtención de las señales fotoacústicas para modo directo, contempla los siguientes subprocesos;

- 1) Primeramente se configura el sistema de software, para seleccionar cual o cuales LED (82) de radiación van a ser utilizados,
- 2) los LED (82); irradian uno a uno a la muestra que se encuentra depositada en el contenedor (38) por la parte superior al pasar y concentrar la luz por medio del componente optico (39) y salir un haz por el la abertura (392),
- 3) se crean ondas acusticas en el conjunto de celda fotoacústica (40) y (42) en la cavidad (402) por medio del fenomeno fotoacústico, dirigidas por el canal (406),
- 4) las ondas acusticas son captadas por el micrófono (6),
- 5) las señales se transmiten hacia el acoplador de señal acústica y preamplificador (15), este es el encargado de energizar y polarizar al micrófono (6), amplificar en 36 dB y filtrar la señal eléctrica del mismo,
- 6) las señales eléctricas son dirigidas hacia los dispositivos de captura de señal eléctrica y conversión a señal USB (16) los cuales transforman el sonido de manera analógico a digital para que sean utilizadas, estos se conectan en concentrador USB (17) para que,
- 7) por medio de un software mostrar las señales de amplitud vs frecuencia y fase vs frecuencia.

El proceso de obtención de las señales fotoacústicas para modo de transmisión, contempla los siguientes subprocesos.

- 1) De manera semejante al proceso de modo directo, se configura el sistema de software, para seleccionar cual o cuales LED (82) de radiación van a utilizarse,
- 2) los LED (82); irradian uno a uno a la muestra que se encuentra depositada en el contenedor (412) por la parte superior, a través del haz generado al concentrar la luz por medio del conjunto óptico (39),
- 3) Se transmite la radiación de acuerdo a las propiedades ópticas y térmicas del material de estudio hacia el metal de soporte (413),
- 4) se crean ondas acústicas en la cavidad (410); en el conjunto de celda fotoacústica formado por el capuchón (34), el soporte (39), el metal de soporte (413) y el micrófono electret (33); por medio del fenómeno fotoacústico,
- 5) las ondas acústicas son captadas por el micrófono (33),
- 6) las señales se transmiten hacia el acoplador de señal acústica y preamplificador (15), que es el encargado de energizar y polarizar, amplificar en 36 dB y filtrar la señal eléctrica provenientes del micrófono (33),
- 7) las señales eléctricas son dirigidas hacia los dispositivos de captura de señal eléctrica y conversión a señal USB (16) los cuales transforman el sonido de manera analógica a digital para que sean utilizadas, al ser conectados al concentrador USB (17) para que,
- 8) por medio de un software se puedan mostrar las señales de amplitud vs frecuencia y fase vs frecuencia.

Para obtener la visualización de la señal fotoacústica y su fase como función de la frecuencia de modulación de la luz radiante en el rango de longitud correspondiente a cada LED; se realiza un procesamiento digital, descrito en los diagramas de flujo de las Figuras 16 a la 28 donde las señales capturadas siguen un proceso de control y ejecución de rutinas suministradas por la etapa de control (13), este a su vez gestiona el módulo de potencia (20) y el módulo de referencia de señal (12) en un proceso cibernético de comunicación entre el sistema y la computadora anfitriona del software.

En la Figura 29 se puede apreciar la interfaz gráfica de usuario (300) por medio de la cual el usuario configura y selecciona las posibilidades que permite el equipo como lo es; la selección de las fuentes de radiación LED (82) de manera independiente y su posible selección aleatoria, la frecuencia de radiación de los LED (82), que puede incluir cualquier rango de entre 1 Hz a 1 kHz, con posibles intervalos de muestra intermedios de 1 a 100 Hz, de igual manera la frecuencia de actualización de las gráficas puede incluir dicha disposición; la forma de comunicación entre el software y el sistema físico es mediante la conexión de un puerto USB (17), la cual es seleccionable desde la interfaz, de tal forma que las gráficas de la interfaz muestran dos salidas de intensidad de señal basadas en el procesamiento digital de las señales del proceso de los diagramas de flujo de las Figuras 16 a la 28 para poder entregar una salida de intensidad de señal en función de la magnitud de potencia espectral y la siguiente salida de señal mostrada como la intensidad raíz cuadrática media o valor efectivo de la señal de corriente continua, en conjunto con la salida de la diferencia de fase entre la señal de referencia y la señal acústica generada por la muestra la cual se interpreta como el retraso de fase o el retardo de la generación de la respuesta (sonido) después de haber sido irradiada con luz de forma modulada, para poder realizar este proceso se implementa el proceso de un Amplificador Sensible a Fase (ASF) el cual describe una señal de referencia interna, generada por el mismo sistema; $V_F \cdot \text{sen}(\omega_{FT} + \theta_{ref})$. Donde ω_{FT} es la frecuencia angular definida por $(2\pi fr)$ y θ_{ref} es el Angulo de la fase a la cual se sincroniza la señal, esta señal se multiplica con una señal a analizar quedando $V_{asf} = V_{señal} \cdot V_F \cdot \text{sen}(\omega_{rt} + \theta_{señal}) \cdot \text{sen}(\omega_{FT} + \theta_{ref})$. La salida del ASF está compuesta por dos señales de corriente alterna (CA), una con la diferencia de frecuencias $(\omega_r - \omega_F)$ y otra con la suma $(\omega_r + \omega_F)$, al enviar la salida del ASF a través de unos filtros pasa bajos digitales y analógicos como los incorporados en el sistema, las señales de CA son eliminadas. Sin embargo si ω_r y ω_F son iguales, el componente de la diferencia de frecuencia es una señal de corriente continua (CC). En este caso la salida filtrada del ASF es $V_{asf} = \frac{1}{2} V_{señal} \cdot V_F \cdot \cos(\theta_{señal} - \theta_{ref})$. Esta es una señal correspondiente a una señal de CC proporcional a la amplitud de la señal a analizar libre de ruido o perturbaciones externas la cual se obtiene por el conjunto software y hardware incorporado en la invención.

La Figura 29 muestra la descripción de cada una de las componentes de la interfaz gráfica de usuario (300), la cual para ser habilitada debe de existir la conexión con el sistema

(17); cada botón desencadena una serie de instrucciones, que para poder generar una salida de comportamiento (400) como la mostrada en la Figura 30, se procede de la siguiente manera: primero el sistema (1) debe ser colocado de manera horizontal sobre una superficie plana, el material a medir debe estar libre de elementos no deseados que puedan intervenir en la respuesta de la señal obtenida; el contenedor para la muestra (38), para el caso de modo directo; y el contenedor (412) en la superficie metálica (413) para el caso de modo de transmisión; de igual forma deben estar libres de elementos ajenos a los que se desea estudiar, para el caso de modo directo el elemento de estudio líquido debe cubrir el volumen total interior que es capaz de depositarse en el contenedor (38), que preferentemente son 3 mL de sustancia, esta sustancia se puede depositar por un medio como una pipeta o elemento semejante sin que se desborde o transfiera a otro componente que no sea el interior del depósito (38) este depósito se inserta en la parte inferior de la celda (42) en la cavidad (422); una vez insertada se procede a ejercer un cierre hermético al sujetar la parte inferior de la celda (42) y presionarla contra la parte superior (40) y apretar el conjunto por medio de la cuerda de sujeción (35) y apretarlos para evitar perder la hermeticidad de la celda fotoacústica. Para el caso de modo de transmisión, el líquido no debe sobrepasar una cantidad aproximada de 0.5 ml sobre la superficie metálica (413) en el contenedor (412), esta sustancia se puede depositar por un medio como una pipeta o elemento semejante sin que se desborde o transfiera a otros componentes, una vez depositada la muestra líquida y esparcida de manera uniforme sobre la superficie (413), se procede a realizar la conexión de la componente inferior (41) con la parte superior de la celda (40) mediante el enroscado con la cuerda de apriete y sujeción (30) al ser presionados los componentes (40) y (41), en todo momento llevando una posición vertical del contenedor para evitar su derramamiento, dentro o fuera de la celda fotoacústica, y ser apretados uno contra otro como una tapa rosca.

Una vez realizados estos pasos; y al haber elegido cuál de los dos complementos inferiores para la celda fotoacústica se va a utilizar (modo directo o modo de transmisión), esto de acuerdo a las características de la muestra, en función de la densidad, la transparencia y evaluación por parte del mismo usuario; donde se recomienda para líquidos densos y opacos implementar la configuración en modo directo y cuando es transparente el modo de

transmisión; enseguida se puede verificar que el sistema no tenga algún rastro de anomalía visible, para que posteriormente se configure mediante la interfaz de usuario (software), donde respectivamente se seleccionaran las fuentes LED (38), los rangos de muestreo de la señal y las adecuaciones adicionales ajustables disponibles para poner en marcha el sistema y se obtengan los comportamientos, una vez realizado esto, se puede proceder a guardar los datos obtenidos en un archivo, para su almacenamiento. Finalmente, una vez terminado el análisis se procede a separar las componentes de la celda FA (40) y (41) o la configuración (40) y (42) según sea el caso; para extraer las muestras, mediante la extracción del material antes empleado y la posterior limpieza del contenedor (412) o el depósito (38), para continuar los análisis de otros materiales de estudio.

Los datos obtenidos mediante el dispositivo que son las gráficas o los datos numéricos guardados pueden ser utilizados para el análisis de propiedades térmicas u ópticas de los elementos analizados de forma directa o indirectamente, uno de ellos se refiere a la posible obtención de la efusividad térmica del material, que es la capacidad de un material para intercambiar su energía térmica con el entorno, Su importancia radica en las características de intercambio térmico de materiales, siendo una propiedad termo-física completa de los materiales; ya que la efusividad térmica es parámetro termo-físico único de cada material; con una relación entre efusividad térmica y conductividad térmica dada como:

$$\varepsilon_s \left(\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K} \right) = (\lambda \rho C_p)^{\frac{1}{2}}$$

Se tiene que la señal fotoacústica (SFA) puede ser descrita por:

$$|SFA|_m = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\alpha_g} \sqrt{\alpha_s(Y)}}{\pi f k_s} = \frac{\sqrt{\alpha_g(Y)}}{\sqrt{2} \pi \varepsilon_s} \frac{1}{f}$$

La cual puede ser interpretada como $|SFA|_m = C_1 * f^{-C_2}$

Mediante lo cual, si se realiza un ajuste de las curvas obtenidas de las gráficas de amplitud contra frecuencia y buscando el segmento más apropiado para el argumento C_2 sea igual a 1 del resultado de la amplitud de la señal, se puede obtener un acercamiento semejante a la teoría de manera práctica donde se puede asumir

$$C_1 = \frac{\sqrt{\alpha_g(Y)}}{\sqrt{2\pi\varepsilon_s}}$$

Por lo tanto la efusividad termica queda para el usuario del dispositivo como

$$\varepsilon_s = \frac{\sqrt{\alpha_g(Y)}}{\sqrt{2\pi C_1}}$$

por lo tanto se puede obtener el valor de la efusividad ε_s con substituir los parametros conocidos por el usuario, dados por

$$Y = \frac{\gamma P_0 I_0}{2\sqrt{2}l_g T_0}$$

$\alpha_g \approx 2.074E^{-5}m^2/s$ a 20 C° difusividad termica del aire.

$T_0 = 293K^\circ$; I_0 esta dada por las intensidades aproximadas de las fuentes que son: rojo $\approx 0.7\text{ W/cm}^2$, violeta $\approx 0.43\text{ W/cm}^2$, verde $\approx 0.45\text{ W/cm}^2$ azul $\approx 0.65\text{ W/cm}^2$

l_g =longitud de la distancia del punto de radiacion, desde la parte superior de la celda y el punto limite superior de la normalmento con el contenedor de muestra lleno = 0.02m.

Ya con los correspondientes datos obtenidos por el dispositivo, estos se pueden emplear para escalar en mas interpretaciones por parte del usuario, a través de una variedad de teorias que pudiera utilizar basada en la tecnicas fototermicas, y las propiedades de la absorcion de la luz.

Dentro de estas posibilidades, una muestra del analisis de sustancias liquidas (500) configurando y utilizando el sistema en modo de transmision, se aprecia en la Figura 31, donde aparece el analisis de ciete diferentes substancias (C1 a C7) respecto a una sustancia de refrencia (AD); mostrando las diferencias de absorcion de la radiacion incidente respecto de la longitud de onda (color) a una frecuencia de radiacion en particular, donde respectivamente cada una de las sustancias de analisis es distinta con diferente coloracion, bandas de absorcion e intencidades de absorcion, deacuerdo a tenicas de analisis de materiales complementarias como la espectroscopia fotoacústica convencional y

espectroscopia UV- Vis, compartiendo similitudes en el comportamiento descripto por la grafica de la Figura 31

Los diagramas electronicos correspondientes al sistema (1) se refieren a la Figura 32 correspondiente al diagrama esquematico de la tarjeta que contiene al microcontrolador, la Figura 33 correspondiente al diagrama esquematico del preamplificador y adaptador de audio para la entrada de la señal del micrófono (6) y (33), la Figura 34 correspondiente al módulo de acoplamiento de señal de referencia para la obtención del desplazamiento de fase y la Figura 35 correspondiente a la etapa de potencia (20); para el control de los LED (82); el conjunto del sistema electrónico y sus interconexiones corresponden a la Figura 36; el sistema cuenta con una fuente externa con salida de 15, 12 y 6 V a 3A.

las funcionalidades de la interfaz de usuario (300) del software complementario se aprecia en la Figura 29 y se describen de la siguiente manera; botón de despliegue de ventana de ajustes para la configuración de dispositivos de captura y comunicación (301); captura del intervalo de separación de toma de muestras entre frecuencias de barrido y frecuencia de actualización de graficas (302); indicadores de selección de LED de radiación a emplear (303); selección de aleatorización de LED de radiación (304); boton de activación compensación de amplitud y fase por software (305); espacio de captura del valor de la frecuencia de inicio en Hz (306); botón de inicio de ejecución de proceso (307); botón de paro de proceso (308); salida de la diferencia de la señal con referencia a cero grados (309); entrada del valor final de la frecuencia en Hz (310); salida de la frecuencia actual de trabajo (311); salida de la diferencia en grados entre las señales de entrada (312); salida del valor actual del voltaje RMS de la señal de estudio en Volts (313); selección del tipo de muestreo para la radiación; puntual o corrimiento de frecuencias (314); salida del valor actual del voltaje de la potencia espectral de la señal de estudio en Volts (315); salida de la gráfica del comportamiento de la señal de estudio en función de la potencia espectral (316); salida de la gráfica del comportamiento de la señal de estudio en valor de voltaje RMS (317); espacio de salida de la gráfica del comportamiento de la fase de la señal de estudio (318); espacio de salida de la gráfica de comportamiento de las señales de entrada en función del tiempo (319); botón para guardar datos obtenidos del muestreo realizado (320).

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito nuestra invención reclamamos como de nuestra exclusiva propiedad lo contenido en las siguientes cláusulas:

1. Un proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas caracterizado porque comprende: de manera general un armazón metálico (23) el cual comprende el área superior (232) donde se localizan; la unidad de captura de señal eléctrica y conversión a señal USB (16); concentrador de señales USB (17); un circuito de acoplamiento de señales acústicas y; un preamplificador (15) para; un micrófono electret (6); un mecanismo electromecánico de movimiento y selección de radiación vertical-angular (9) en el que se encuentra acoplado un soporte (8) para los; LED de radiación (82) y; un mecanismo de movimiento vertical (10), unidos un; armazón con una articulación (19) para ejercer con él un grado de libertad, unida a un; soporte (18), en la parte inferior del; armazón (231) se encuentran alojados unos; dispositivos de acoplamiento de señal de referencia (12) una etapa de control con un; microcontrolador (13); una etapa de potencia (20) con su; área de disipación de calor, un soporte aislante para los componentes de un conjunto óptico (39) que se encuentra integrado por un lente de entrada (24) y un lente de salida (392) cada uno insertados en soportes superior (25) e inferior (28) unidos a una carcasa (26) por medio de tornillos de ajuste de foco (29). Con dos maneras diferentes de forma de radiación una con la configuración en modo directo por medio de los componentes (40) acoplado a la componente (42) y la segunda, uniendo los componentes (40) y (41) para modo de transmisión de la cual vienen acopladas las correspondientes partes que integran al conjunto de superior de celda fotoacústica (40) los cuales son una parte cilíndrica superior de celda (2), una ventana de radiación (4) con tornillos de sujeción (22), un tornillo de purga (5), una cubierta de sujeción (3); un montaje inferior de celda modo directo (42) que se encuentra constituido por un contenedor de muestra (38), un receptor de depósito (36) con un material de soporte (420) transparente en su parte central, una rosca de sujeción 835), y un sello oring (37); una parte inferior para modo de transmisión (41) constituida por una cuba de depósito (412), una estructura de soporte (31), una rosca de sujeción (30), diagram un micrófono electret (33), un canal de conexión (411), una cavidad de celda (410), un sello oring (32) una membrana de soporte de metal (413); y una unidad de procesamiento digital.

2. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque la radiación de las muestras líquidas se realiza por medio de LED de alta potencia.
3. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque los LED de potencia tienen diferentes rangos de longitud de onda en espectro visible.
4. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque cuenta con un mecanismo seleccionador de dispositivo de radiación LED.
5. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque se tiene un módulo de control de potencia de los dispositivos LED.
6. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque cuenta con un módulo de pre-amplificación de alta ganancia de señales de audio.
7. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque cuenta con un aislante acústico en el soporte de la celda fotoacústica.
8. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque la captura y control de las señales quedan como función de la frecuencia de modulación, con un rango de excitación de 1 a 1000 Hz.
9. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque el procesamiento digital de señales del sistema en conjunto con el sistema de hardware se realiza la función de un amplificador sensible a fase.

10. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas de la reivindicación 1 caracterizado porque emplea fuentes no monocromáticas, con modulación mediante control digital de onda cuadrada.
11. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas caracterizado por que la forma de radiación y obtención de la señal se puede realizar en modo de radiación directa de la muestra generadora de señal.
12. El proceso fotoacústico multiled portátil para muestras líquidas caracterizado por que la forma de radiación y obtención de la señal se puede realizar en modo de transmisión donde la radiación de la muestra generadora de señal se realiza de manera indirecta al no ser la muestra la que genera directamente el efecto fotoacústico.

RESUMEN

Se desarrolló un Proceso multiled portátil para la adquisición de muestras líquidas mediante fuentes de luz: LED (Light-Emitting Diodes) de alta intensidad. Implementando dos diferentes configuraciones de celda fotoacústica modo directo y modo de transmisión, en el que se depositan en un contenedor las muestras líquidas, modulando la luz proveniente de los LED y haciendo incidir sobre la muestra un haz de luz, para generar el efecto fotoacústico donde la señal es capturada y procesada por un sistema informático que muestra la intensidades de la señal y su fase como función del rango de longitud de onda frente a la frecuencia de modulación.

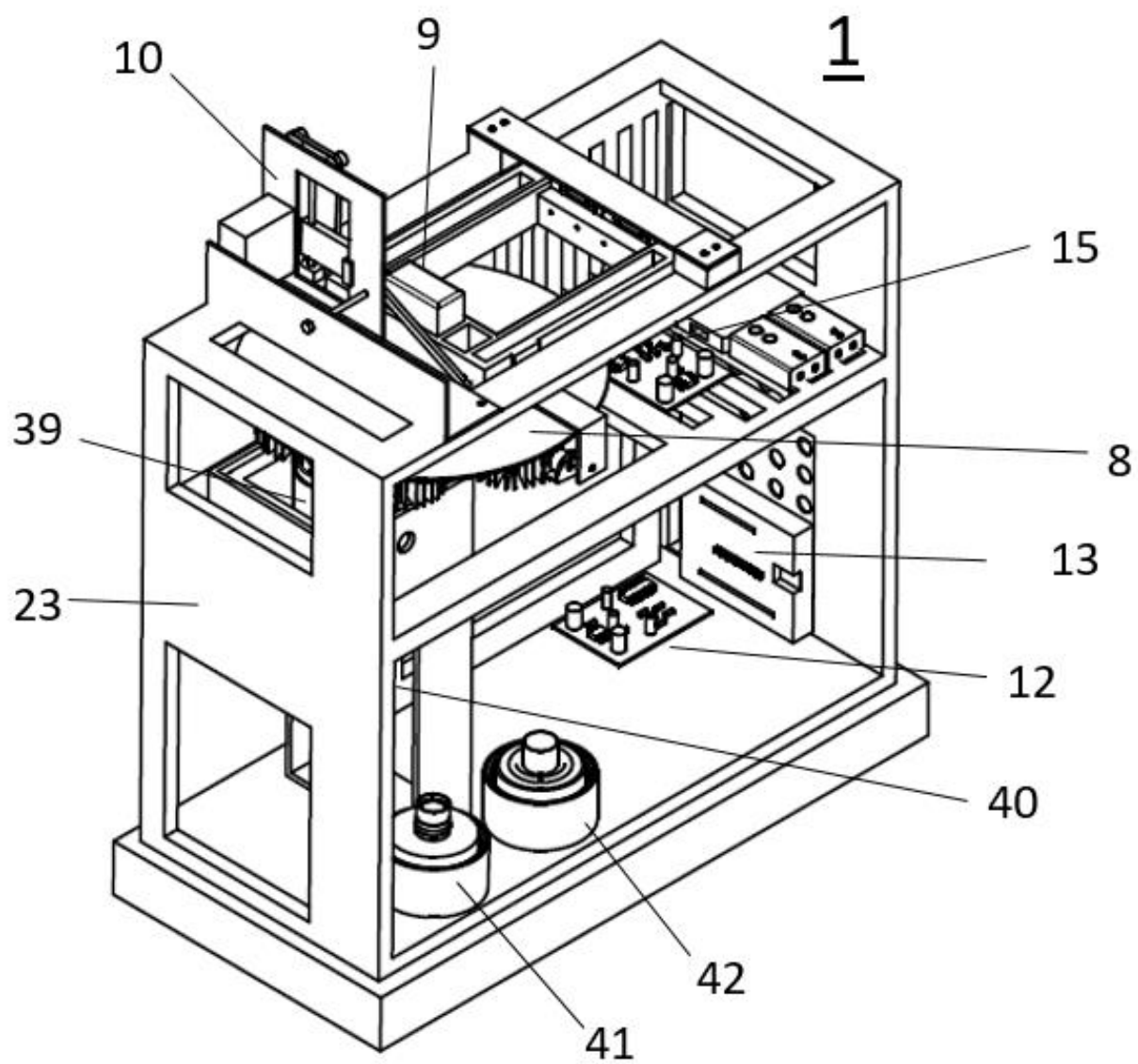


Figura 1

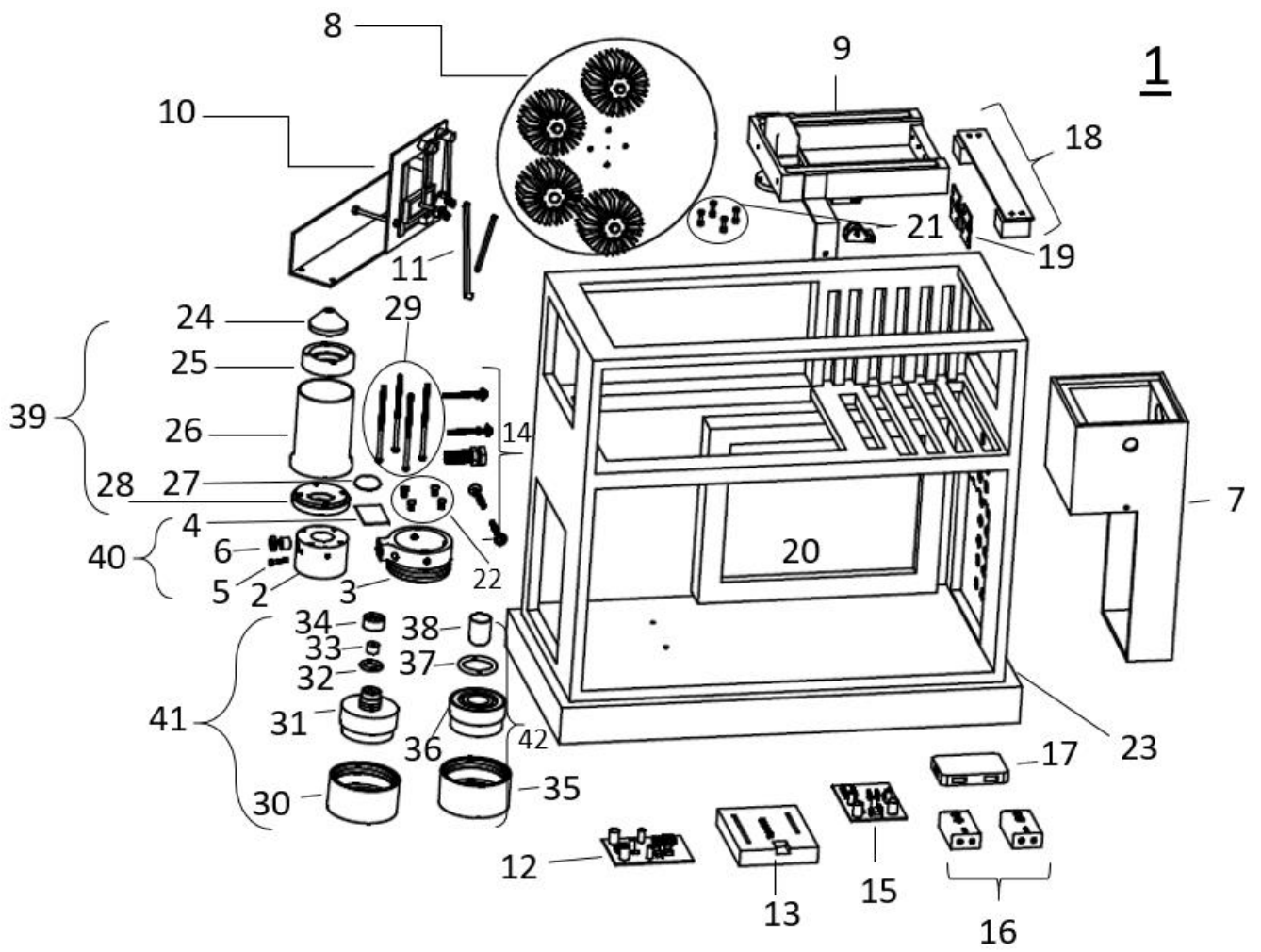


Figura 2

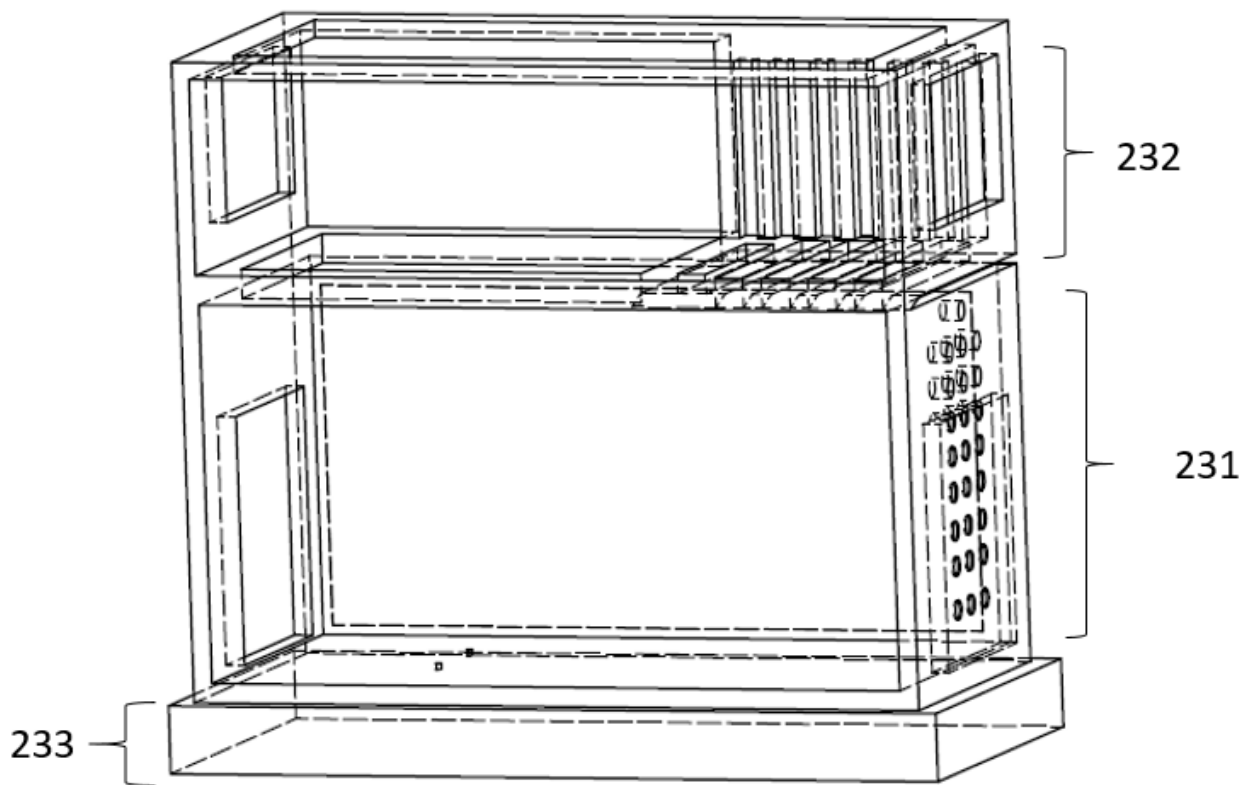


Figura 3

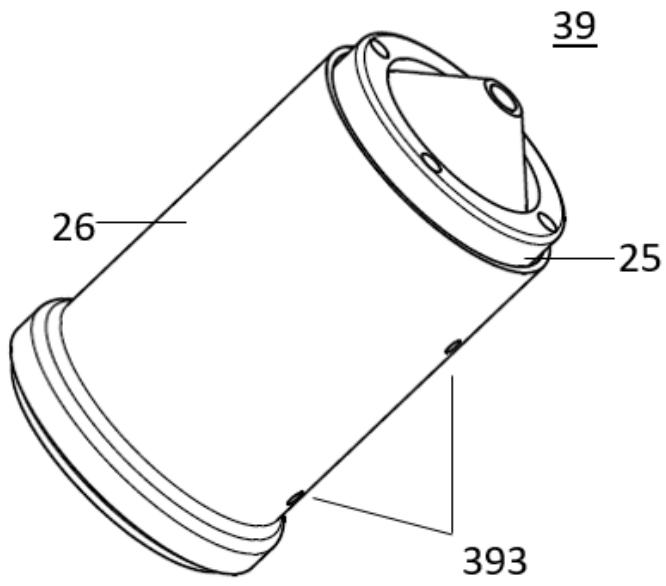


Figura 4

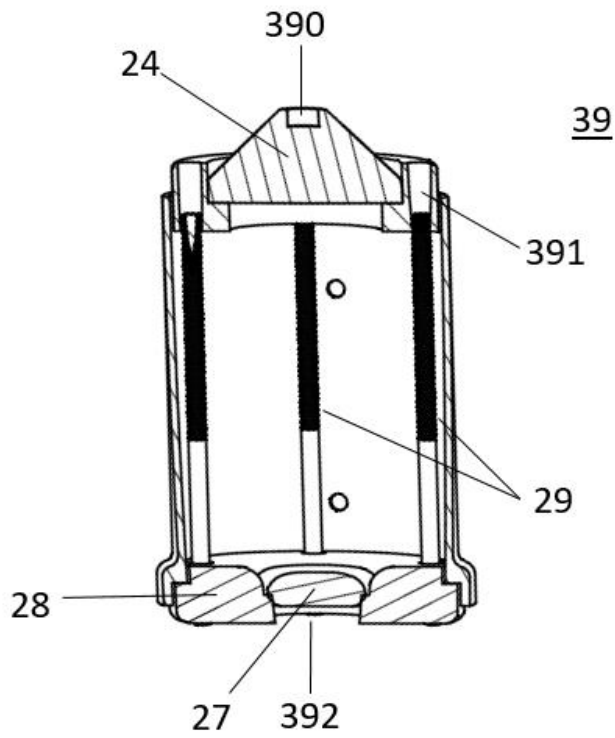


Figura 5

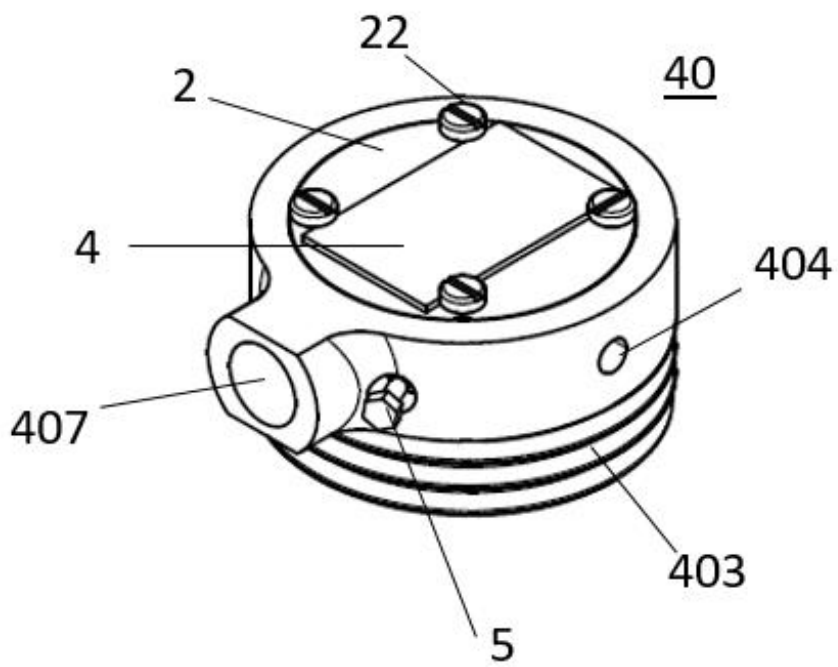


Figura 6

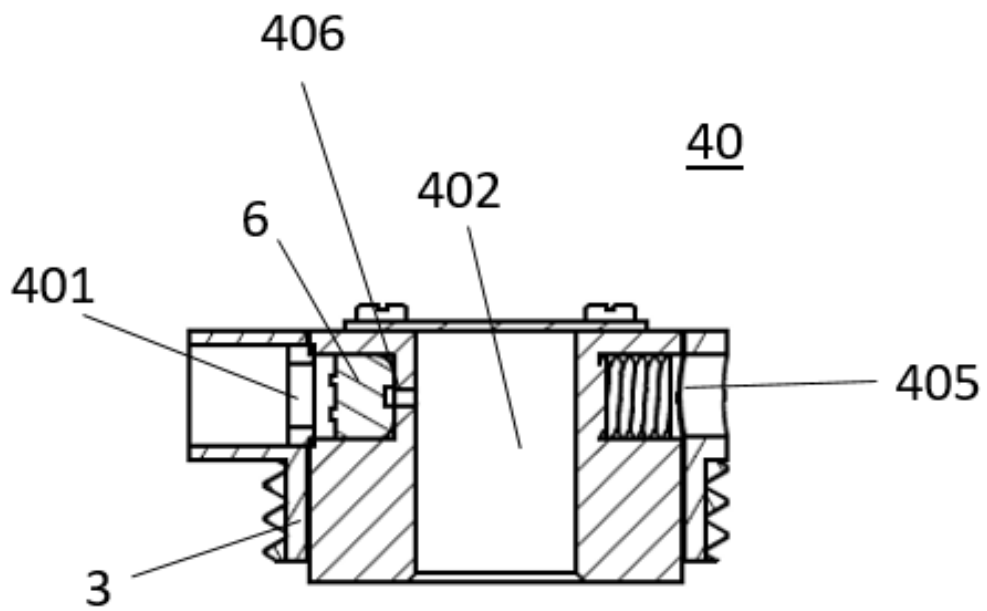


Figura 7

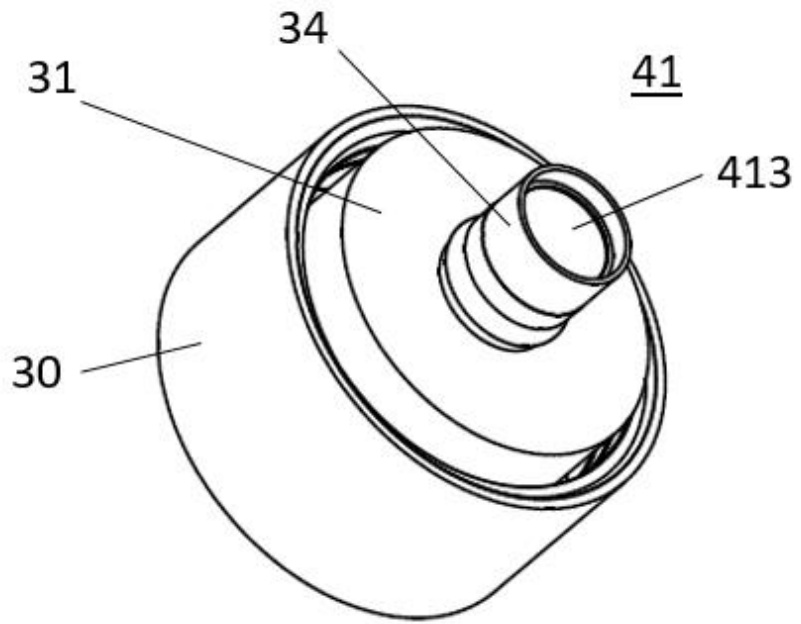


Figura 8.

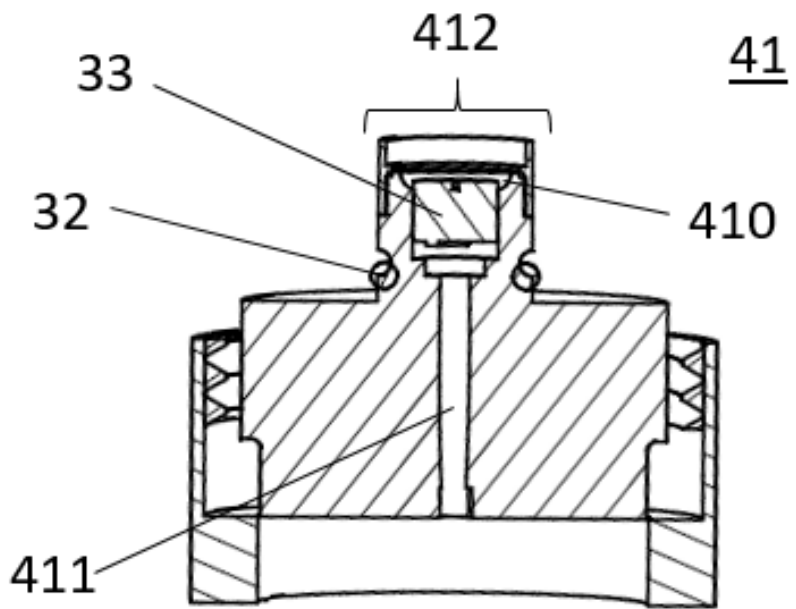


Figura 9

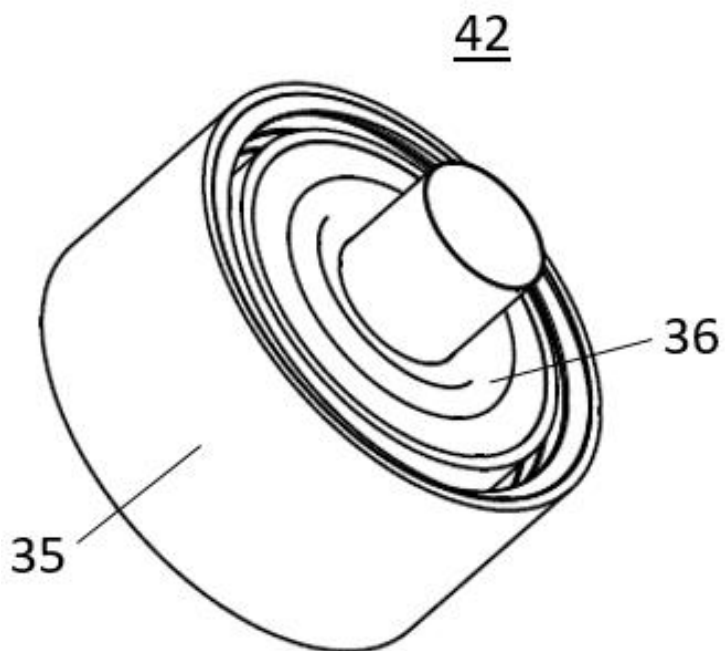


Figura 10

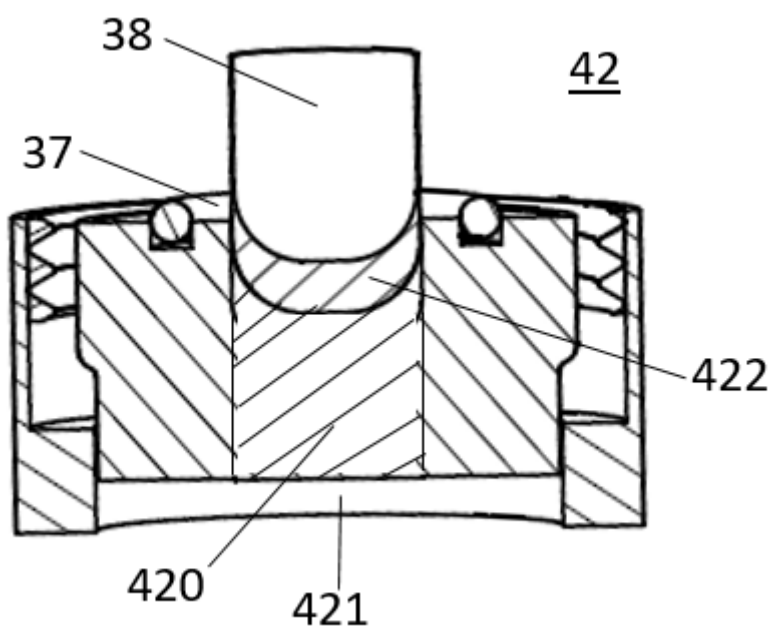


Figura 11

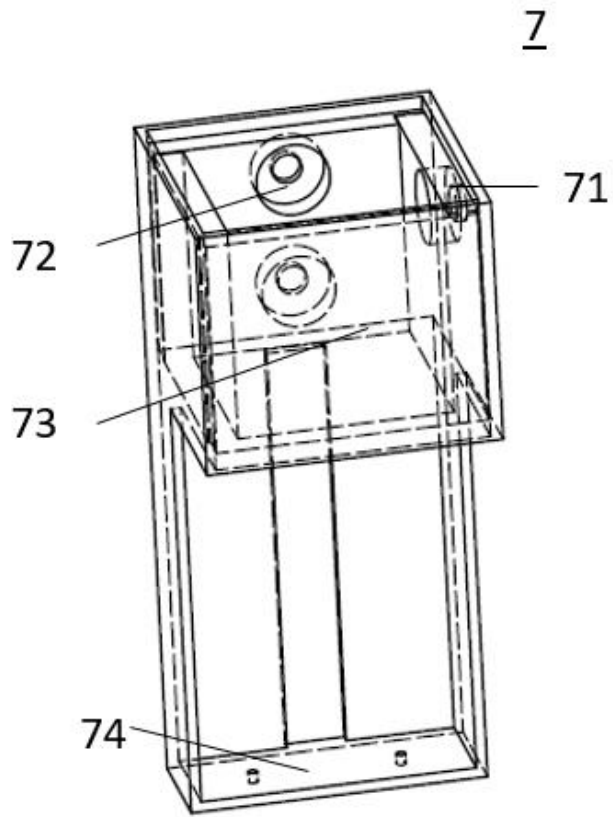


Figura 12

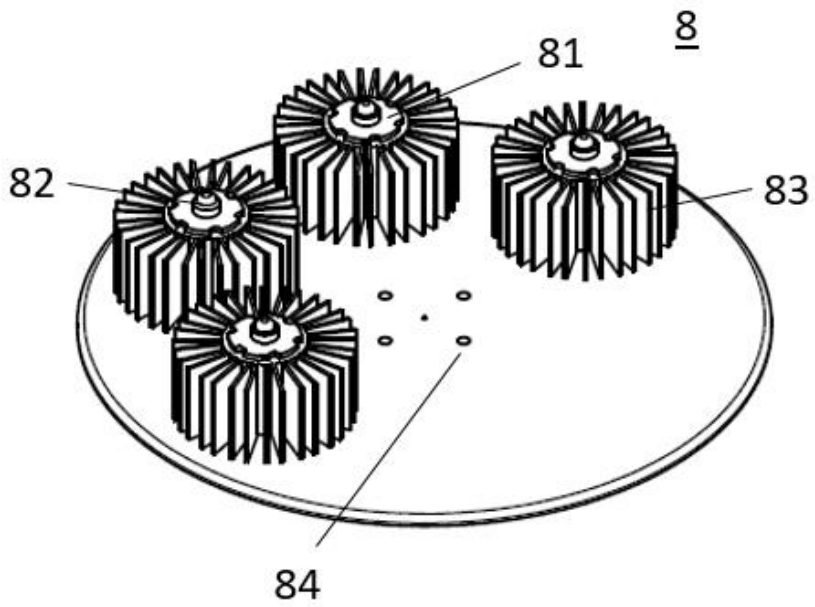


Figura 13

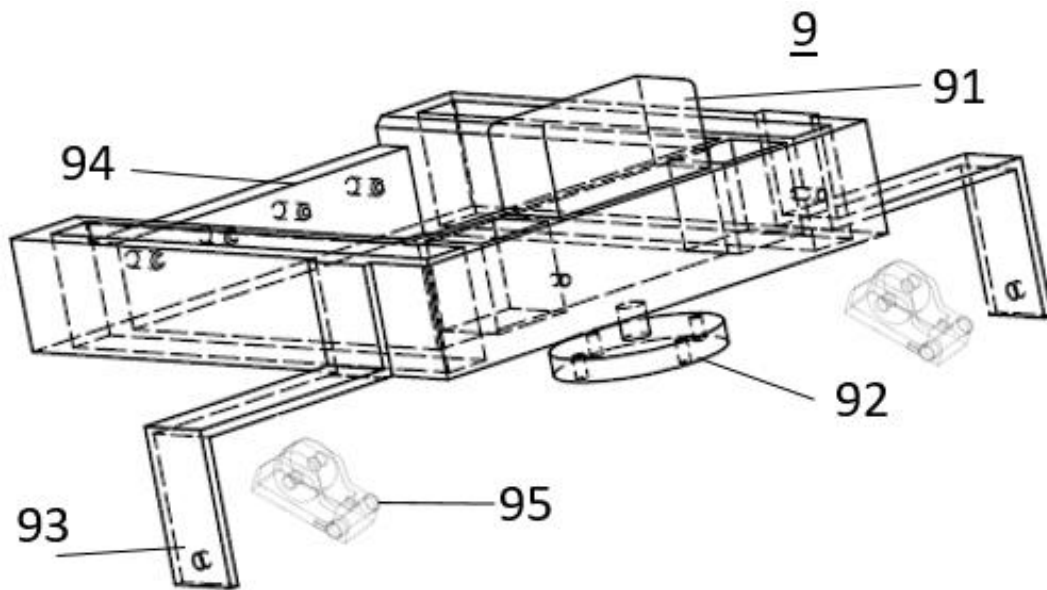


Figura 14

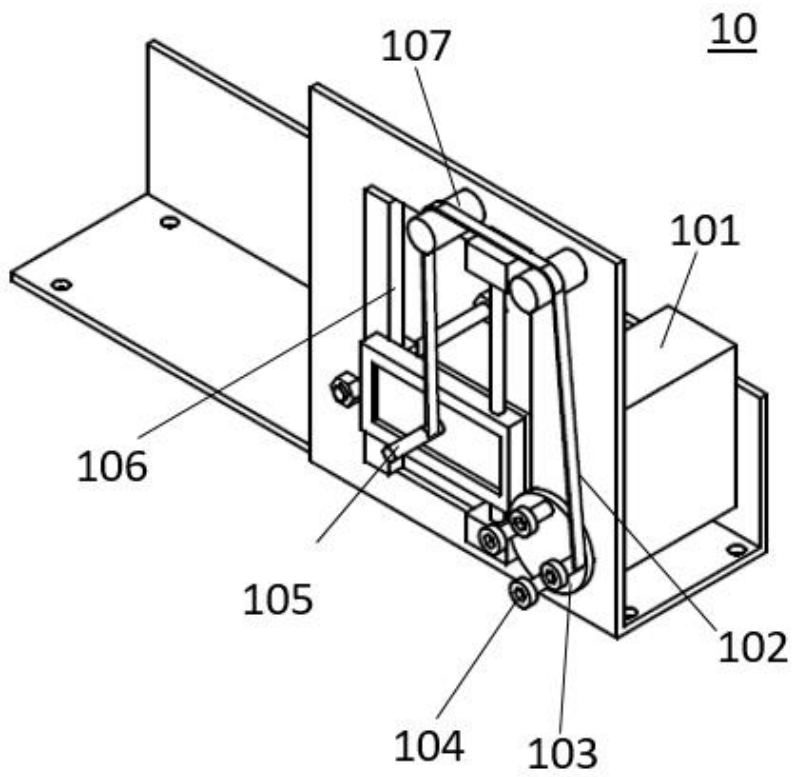


Figura 15

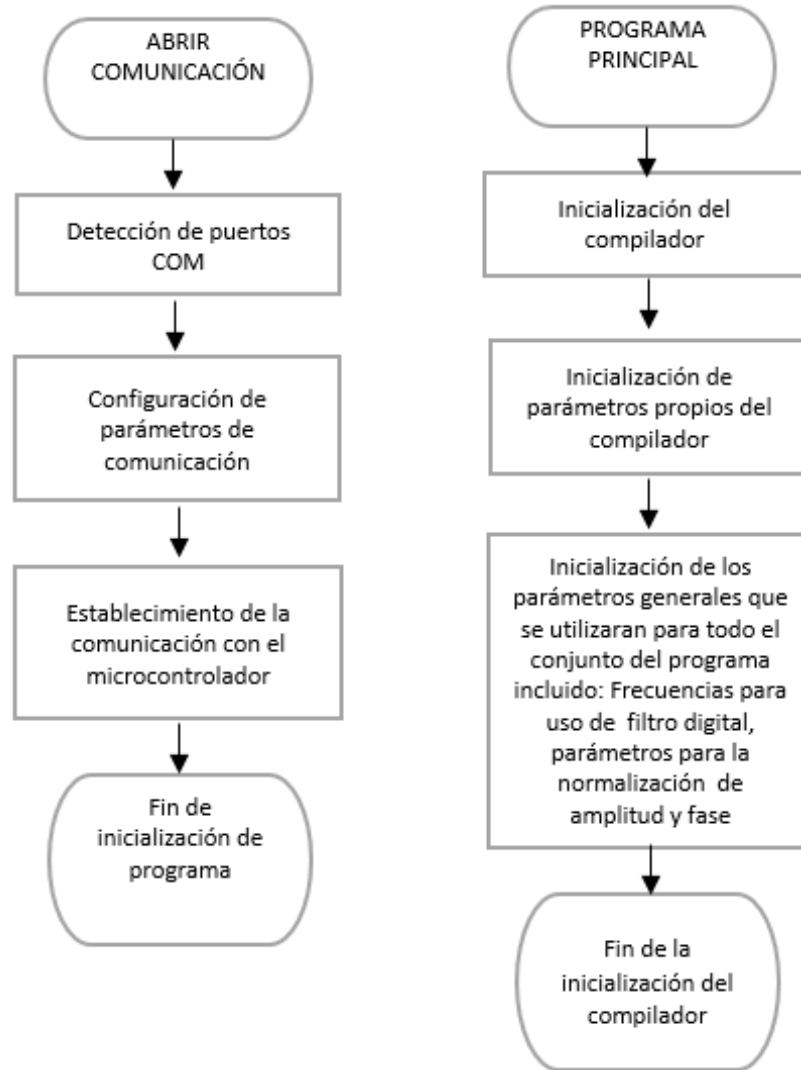


Figura 16

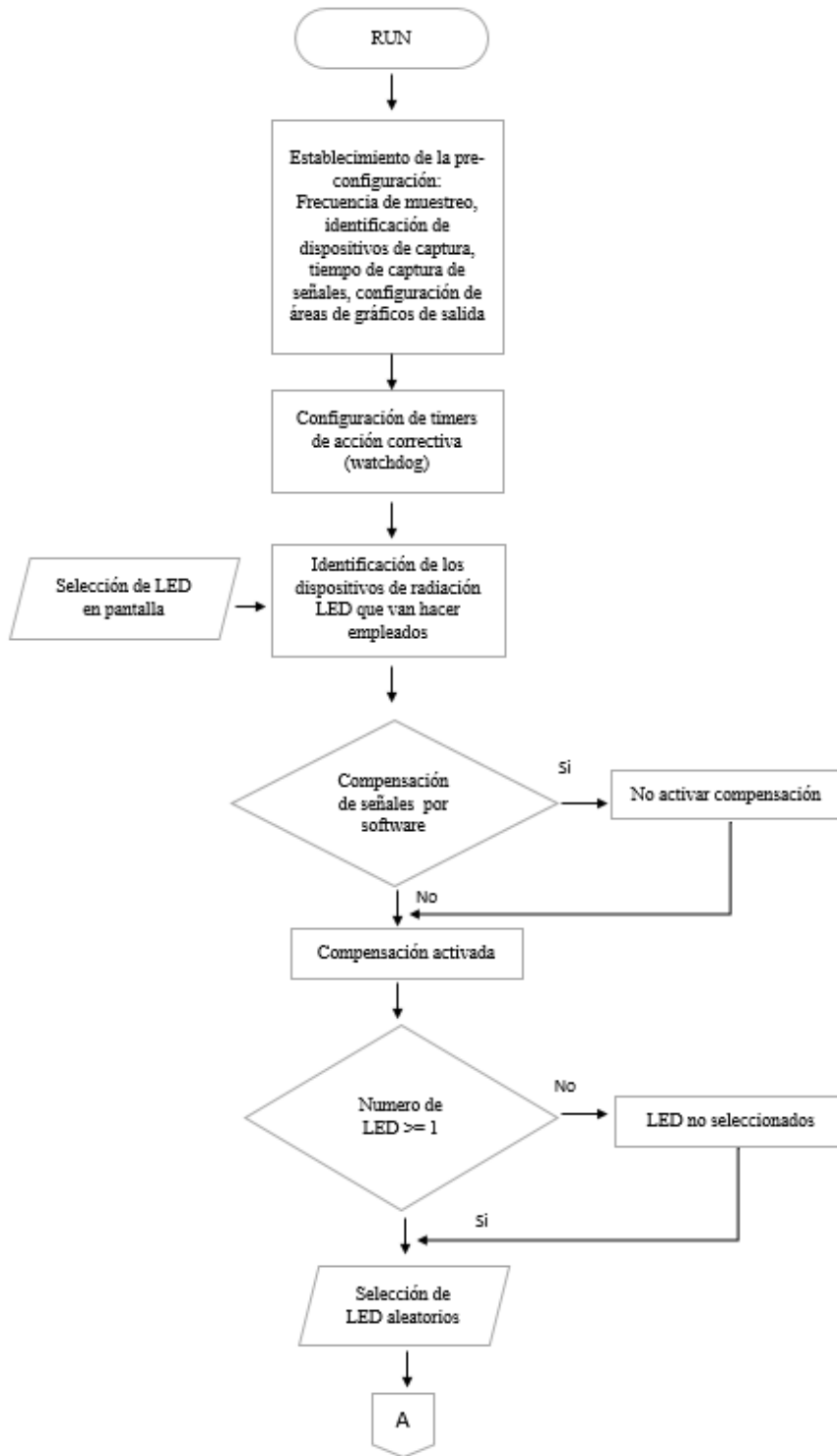


Figura17

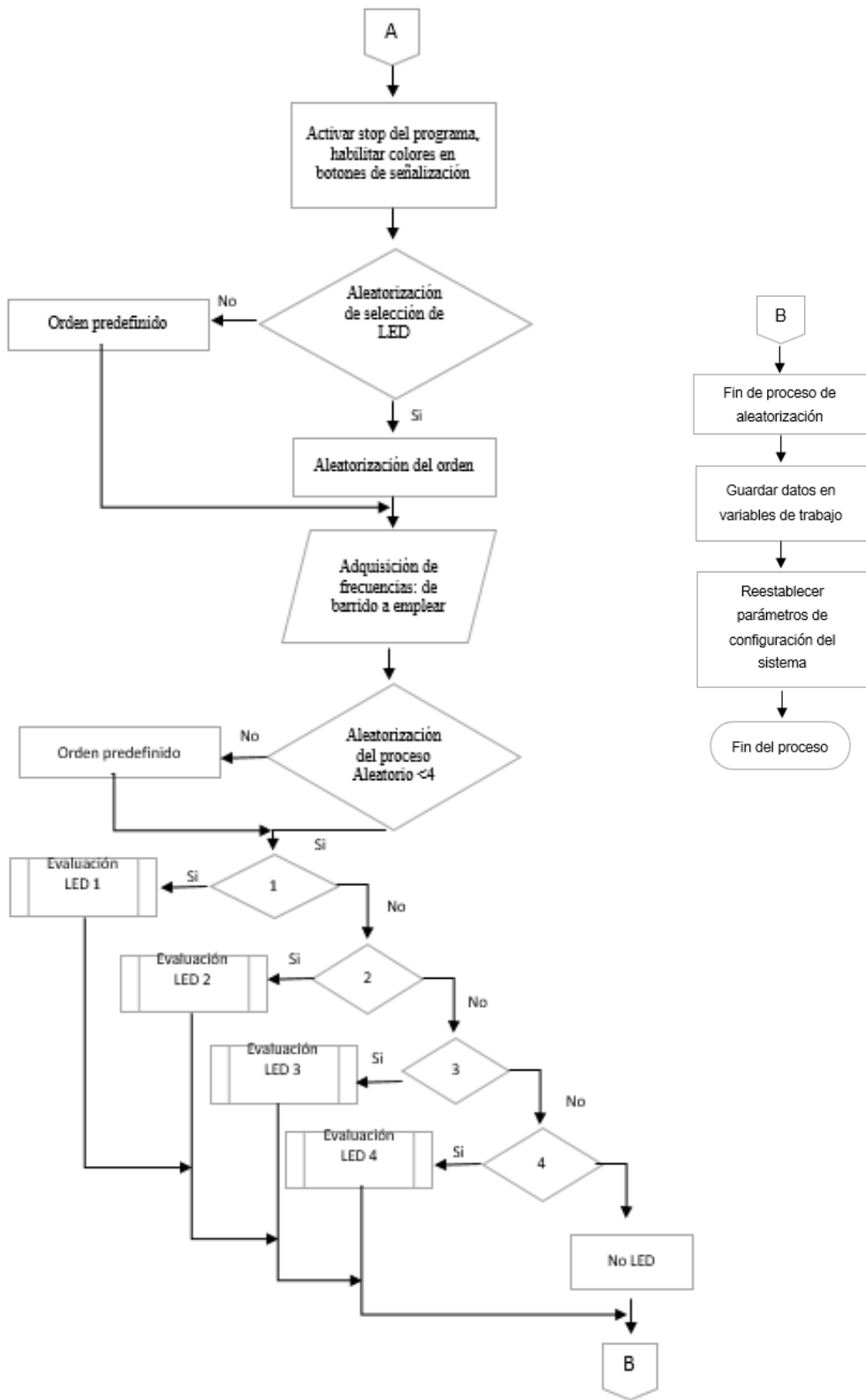


Figura 18

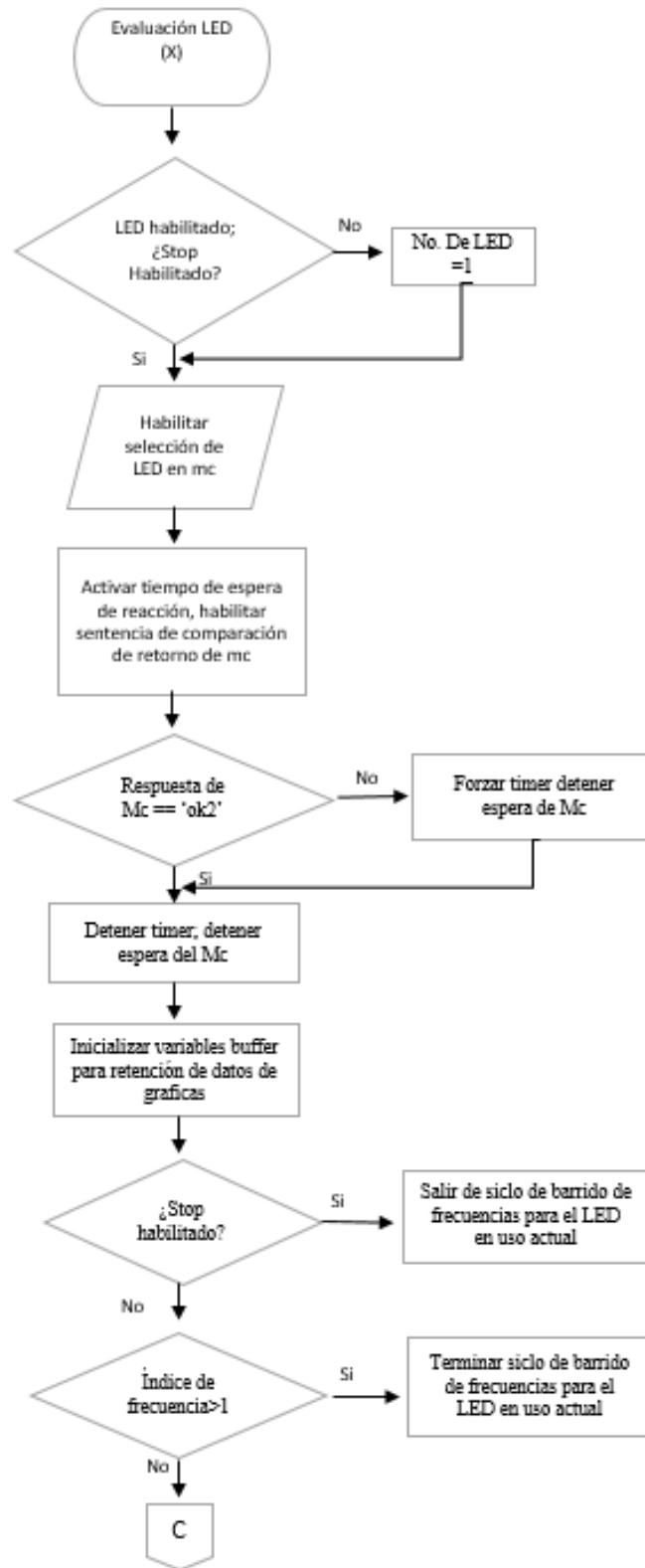


Figura 19

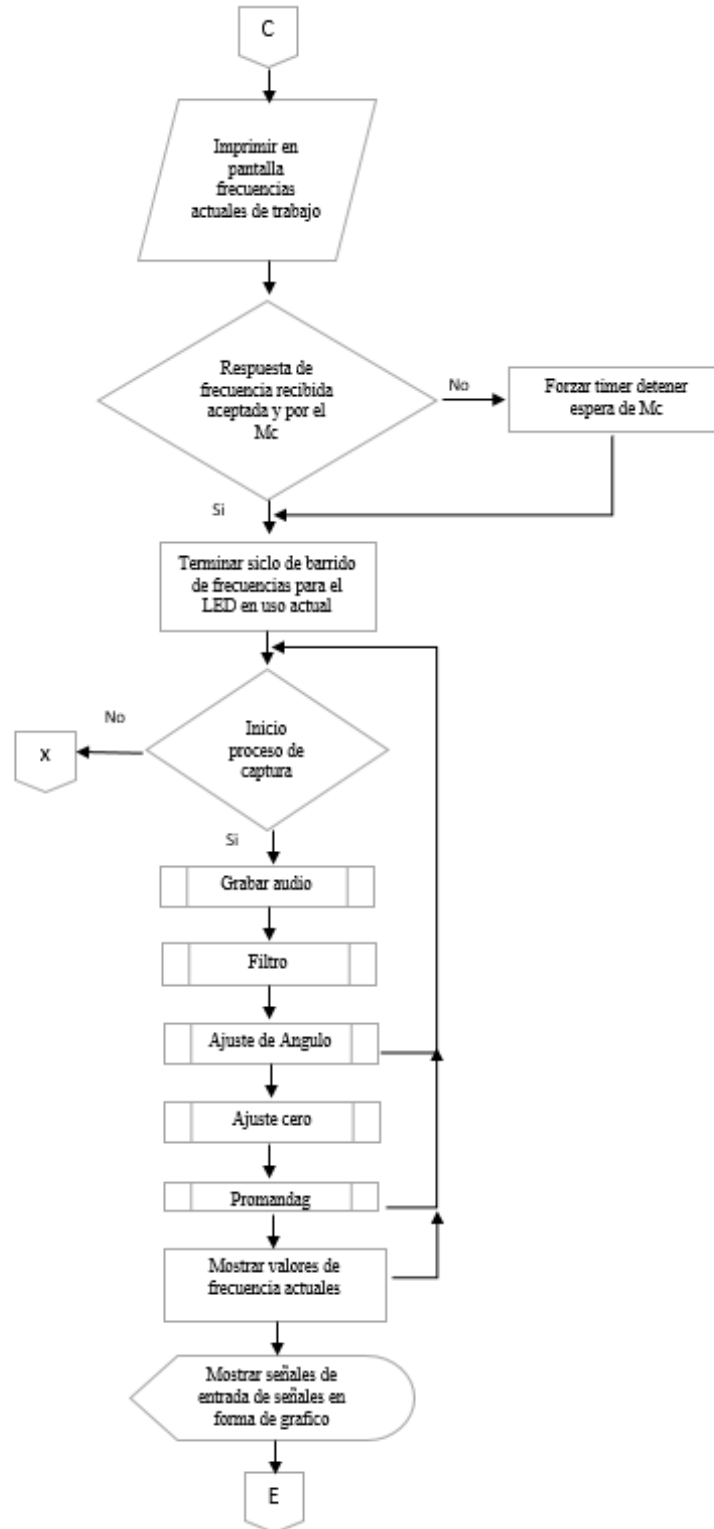


Figura 20

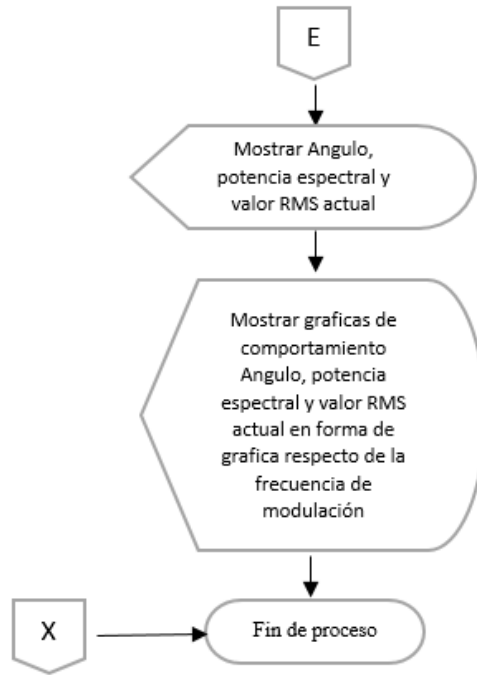


Figura 21

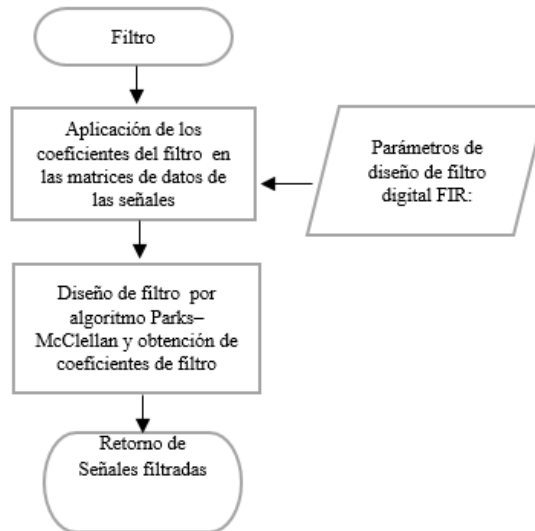


Figura 22

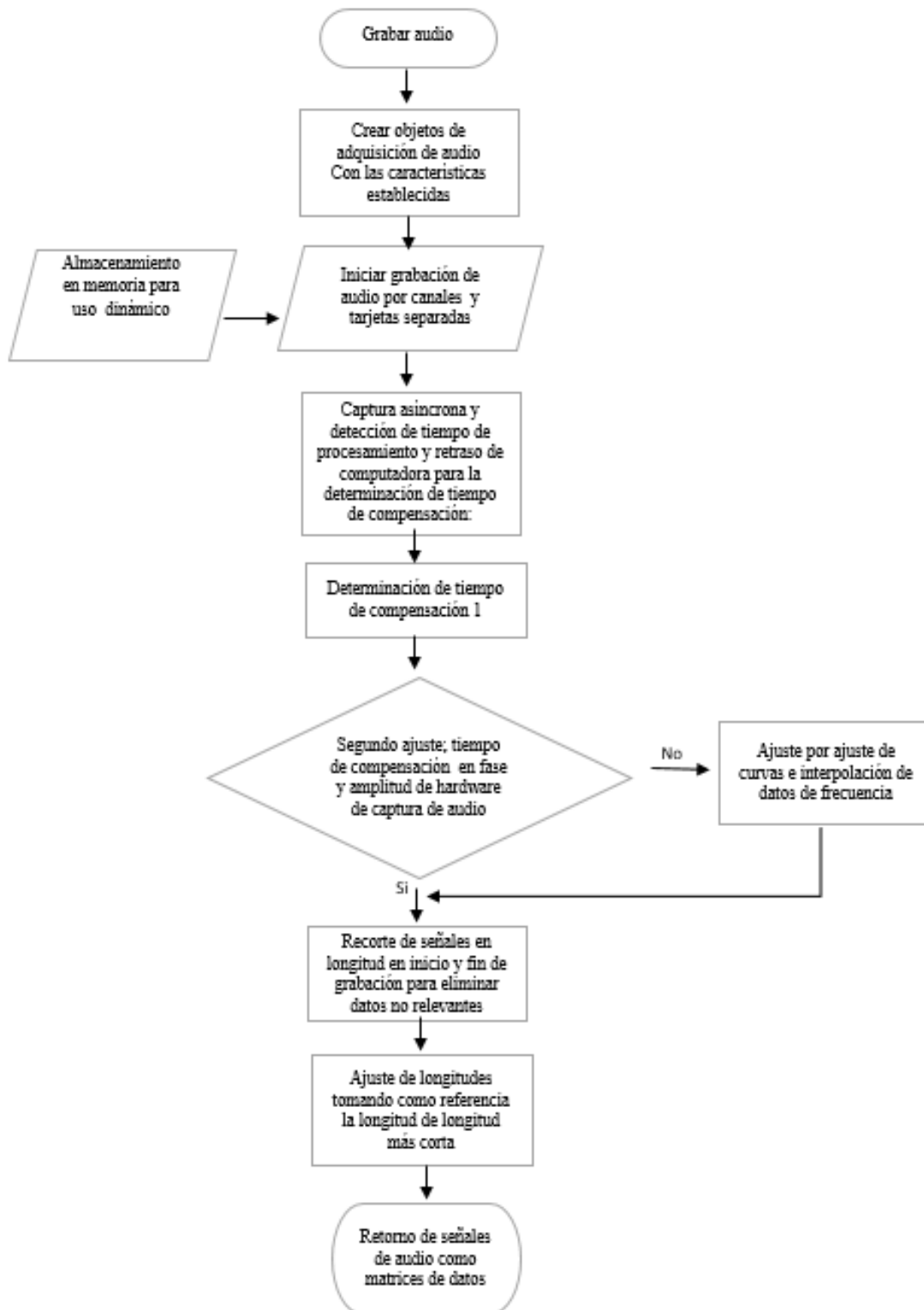


Figura 23

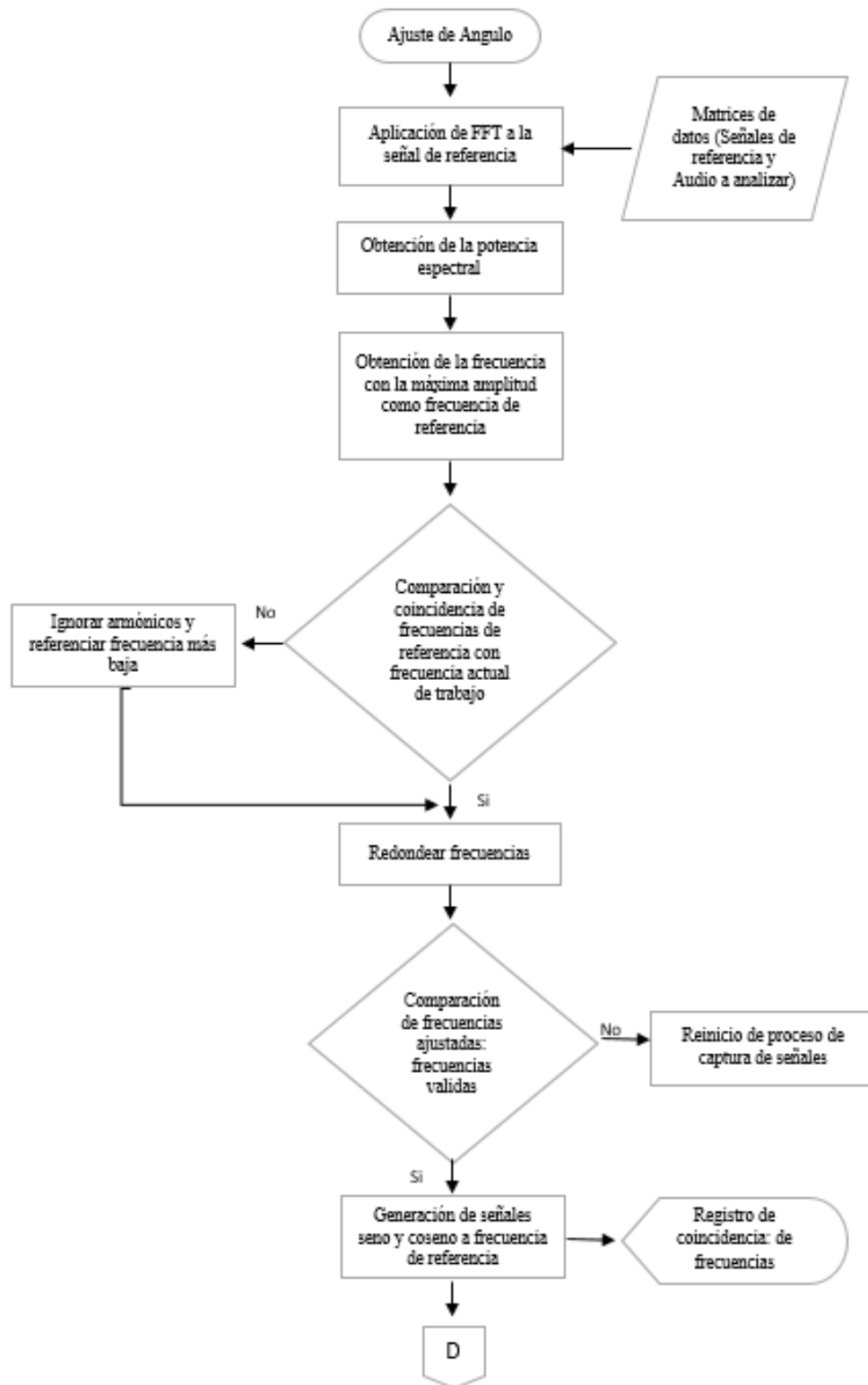


Figura 24

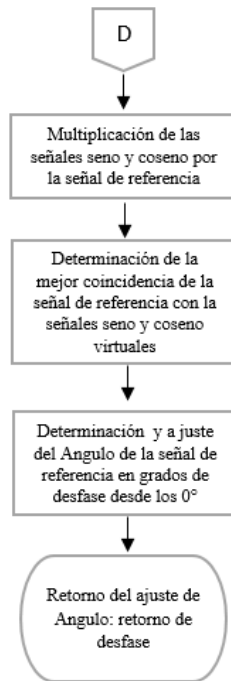


Figura 25.

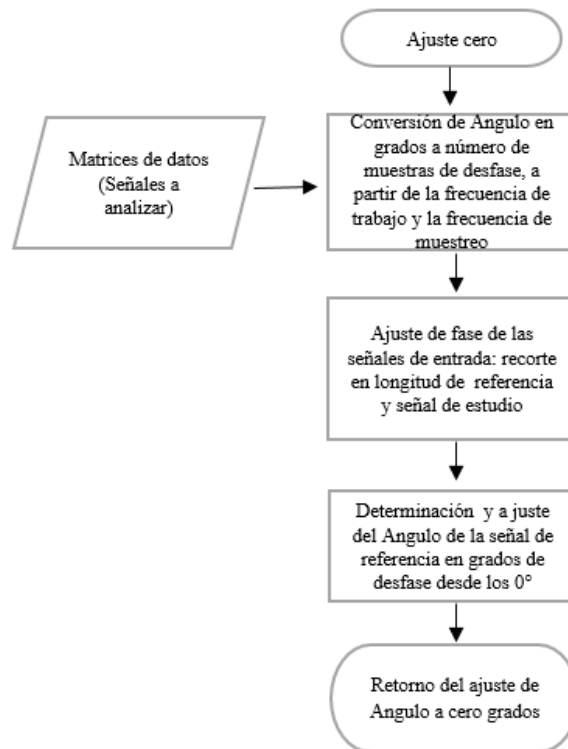


Figura 26.

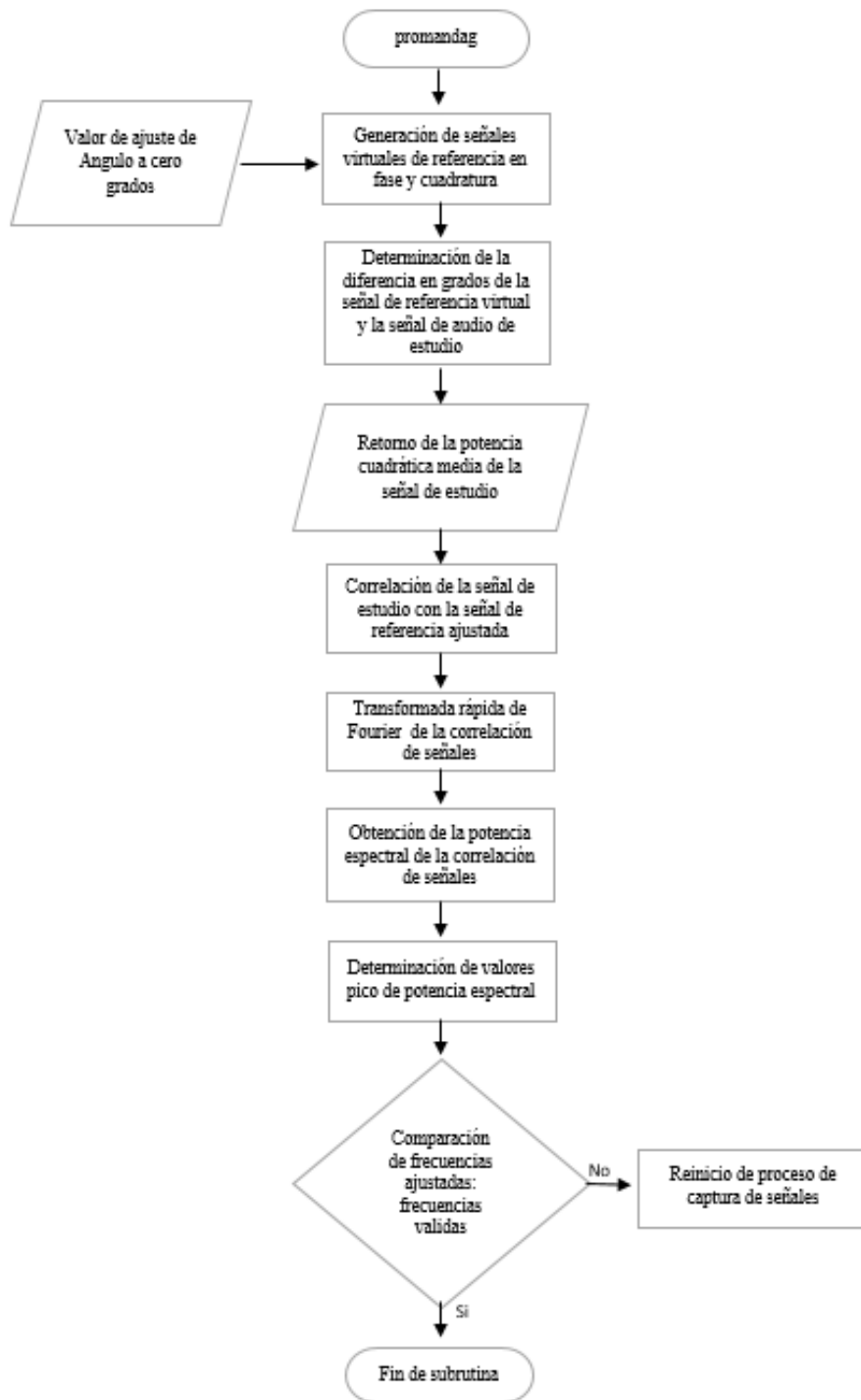


Figura 27

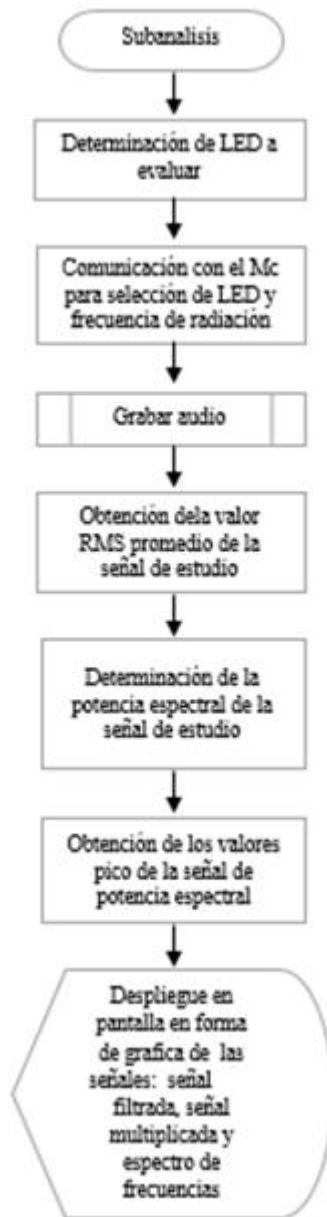


Figura 28

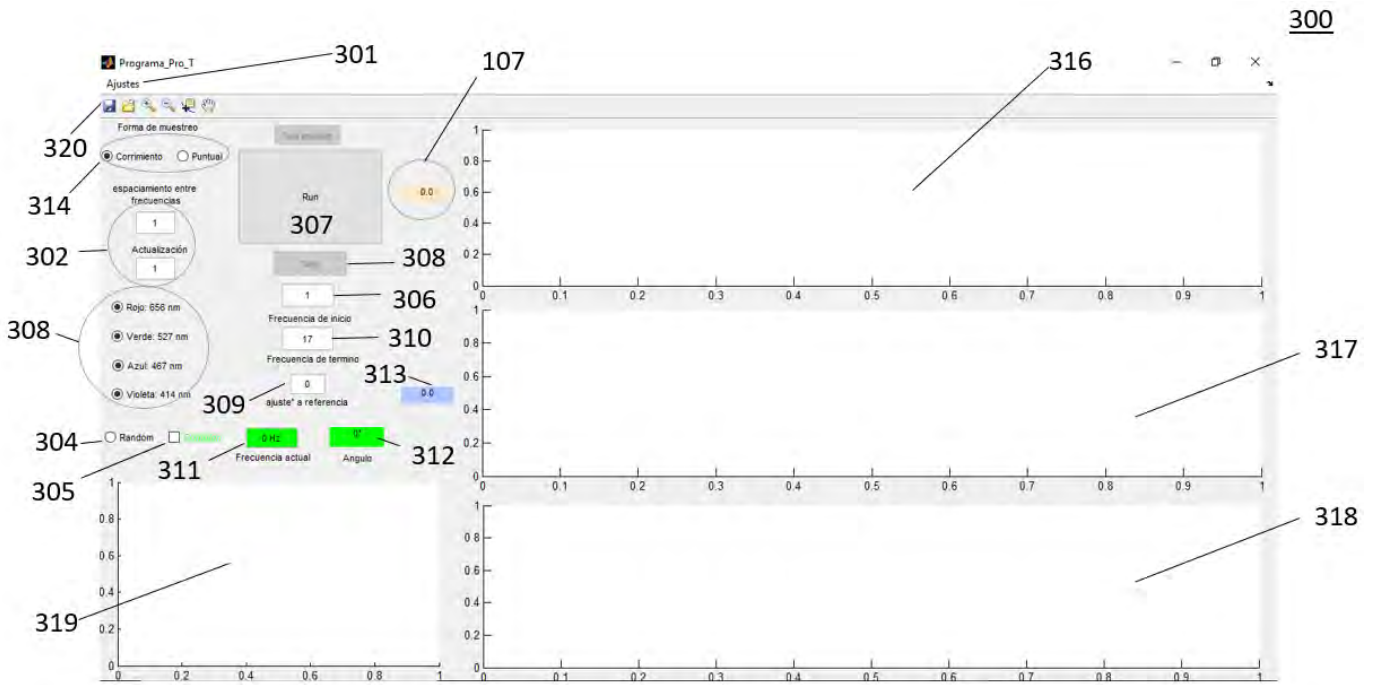


Figura 29

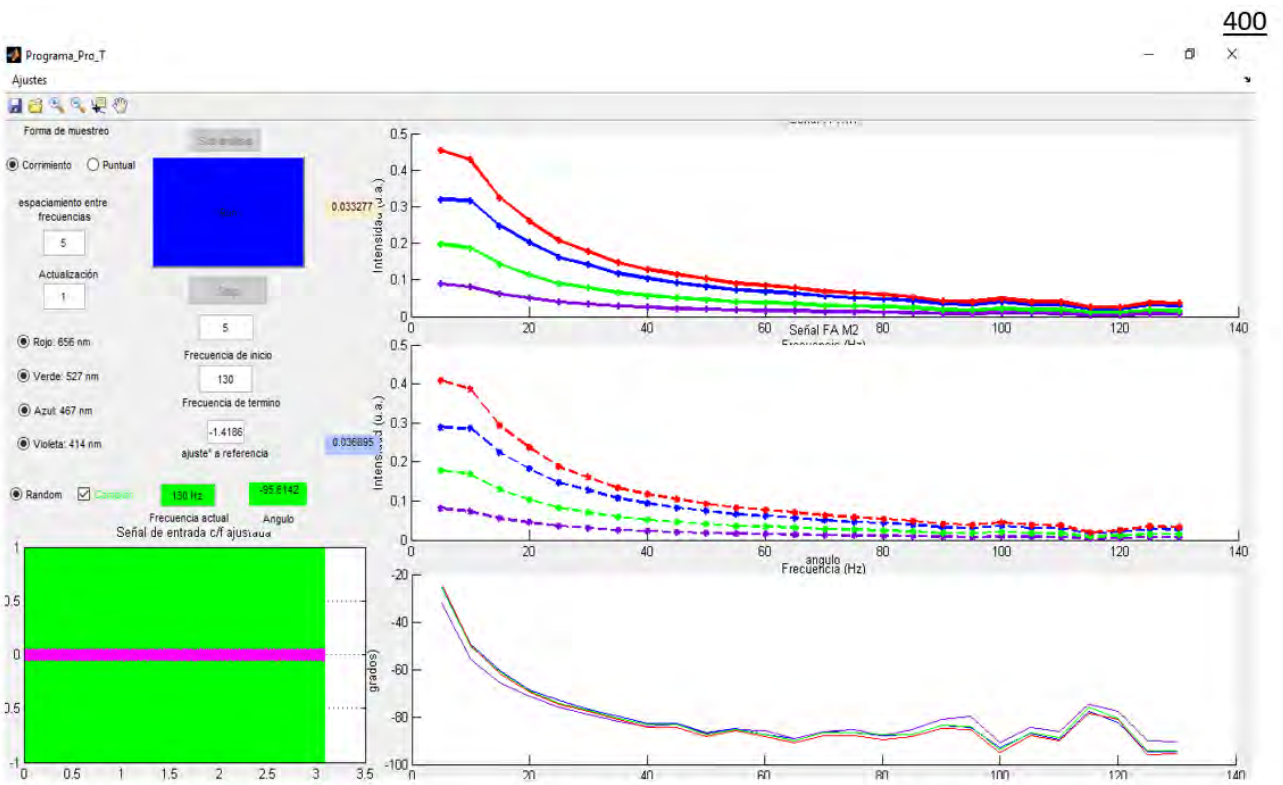


Figura 30

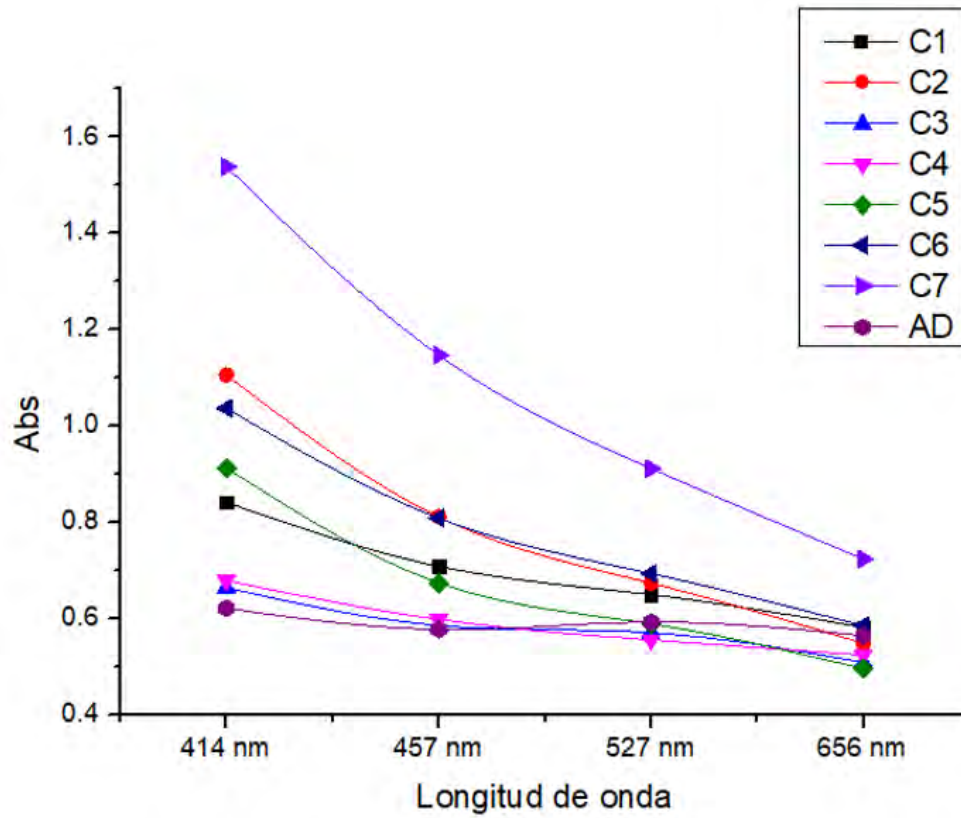


Figura 31

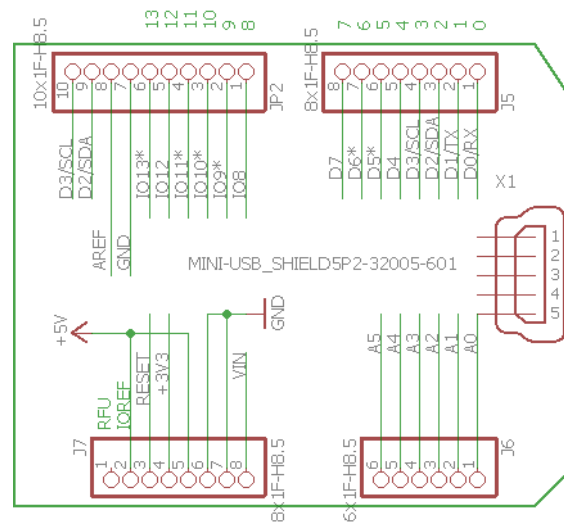


Figura 32

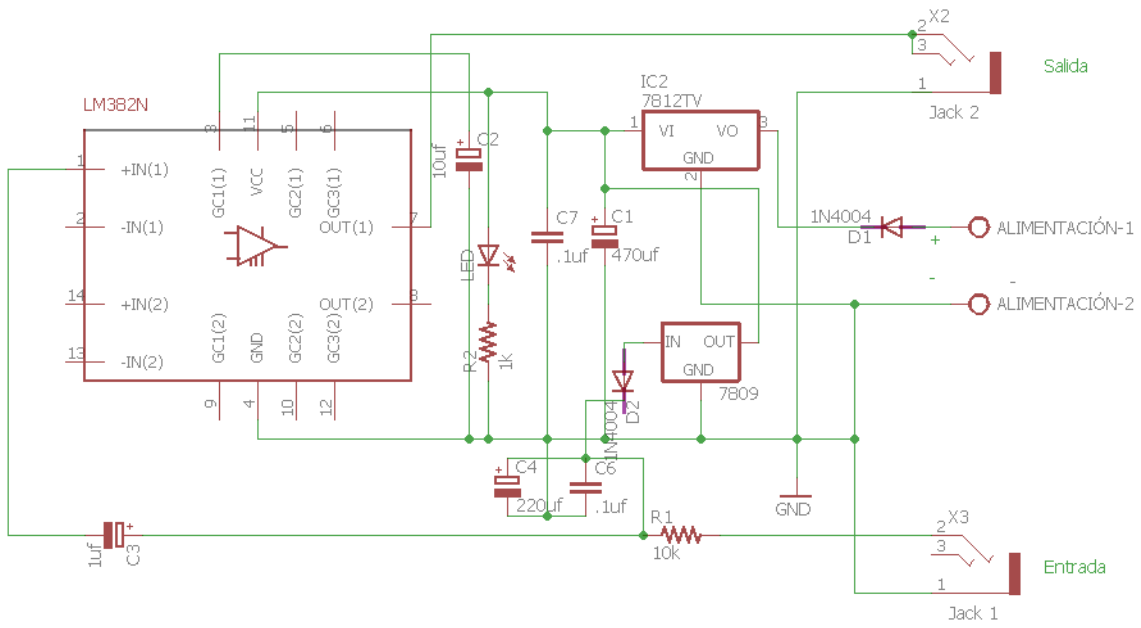


Figura 33

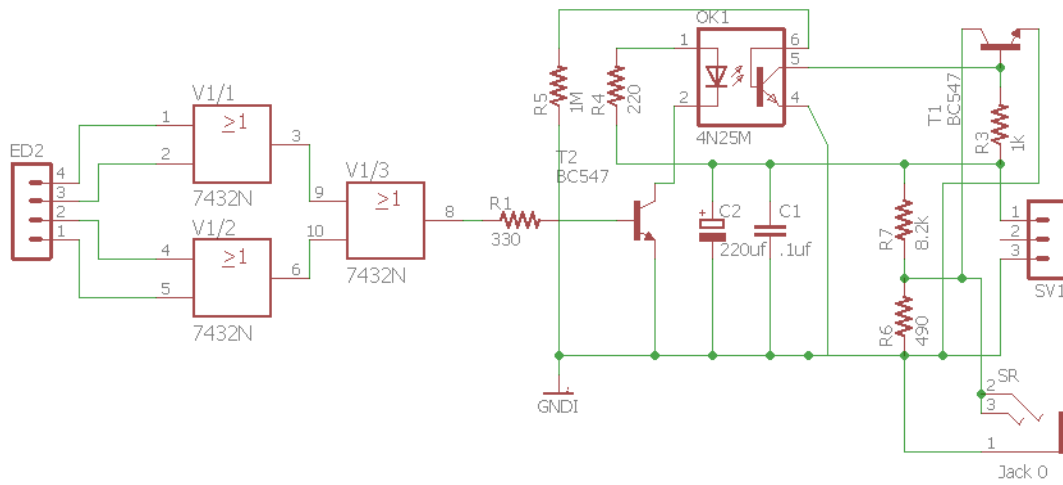


Figura 34

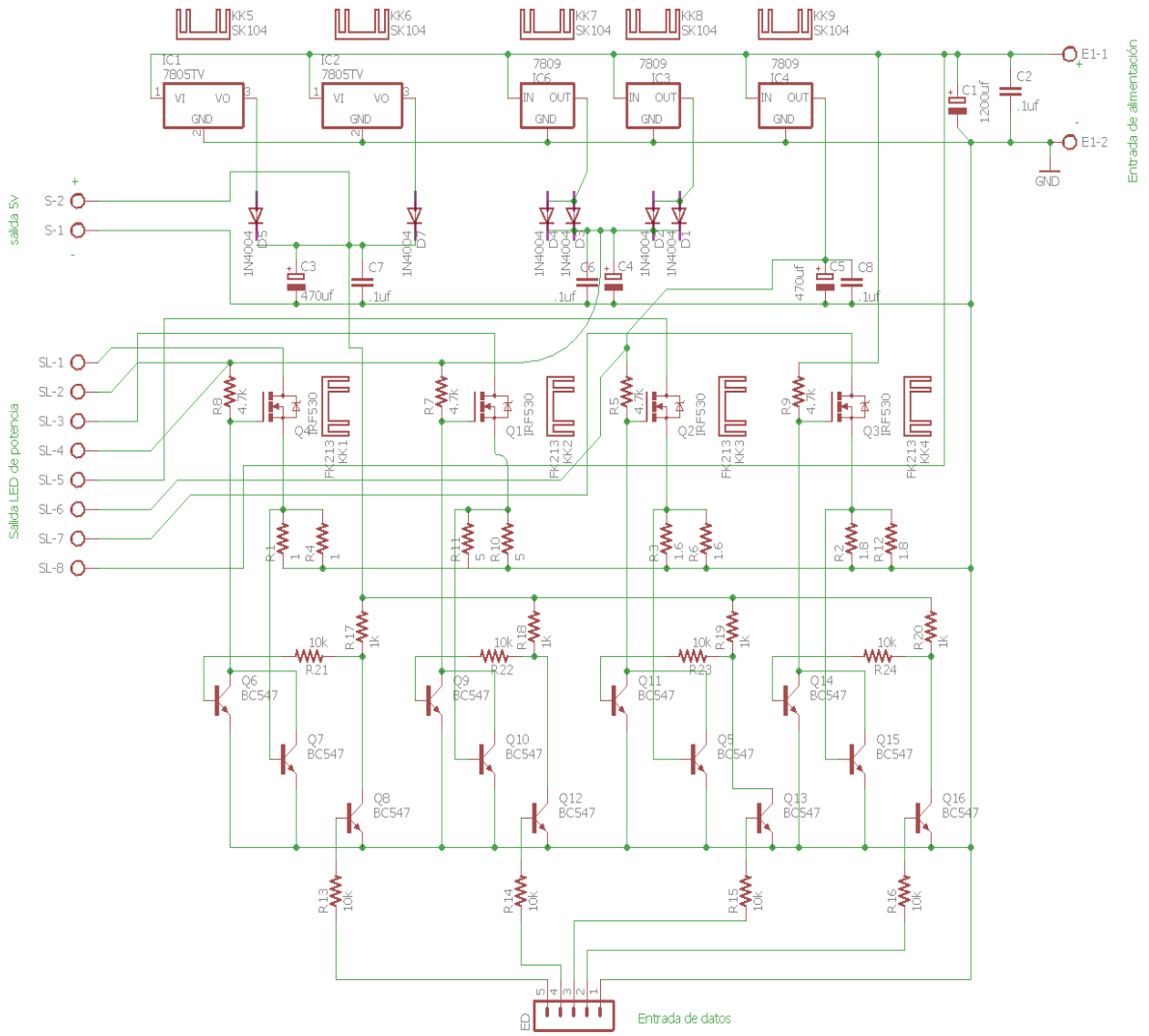


Figura 35

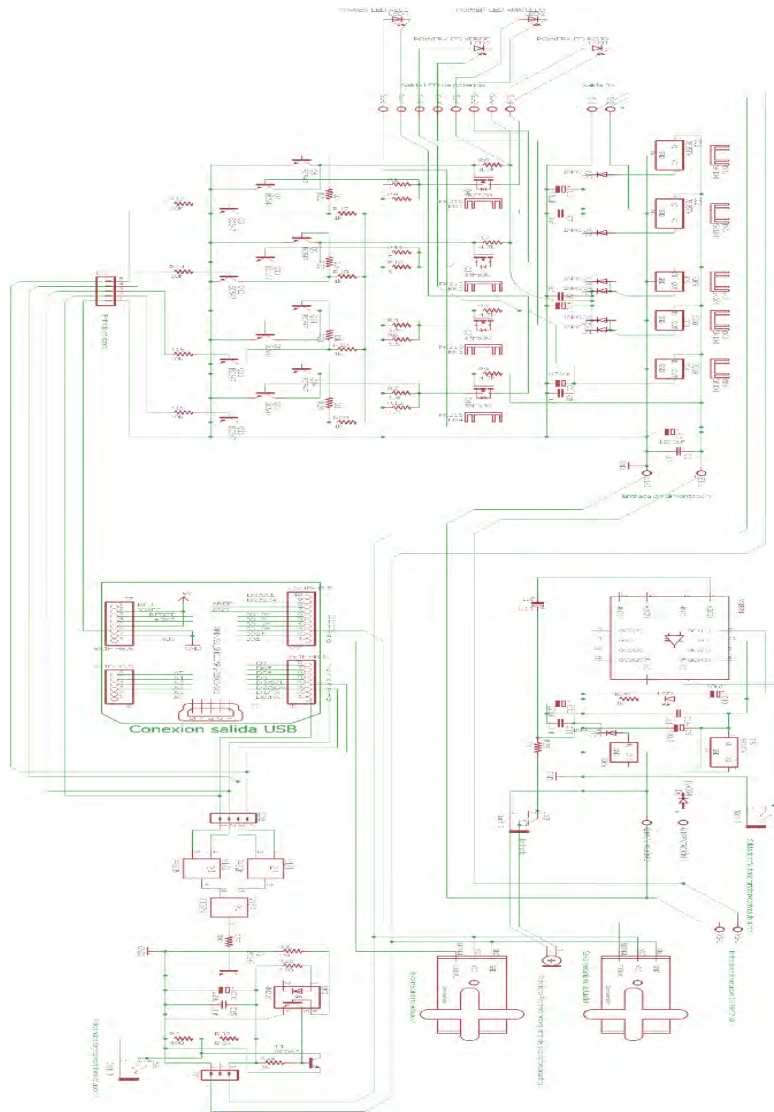


Figura 36

Referencias

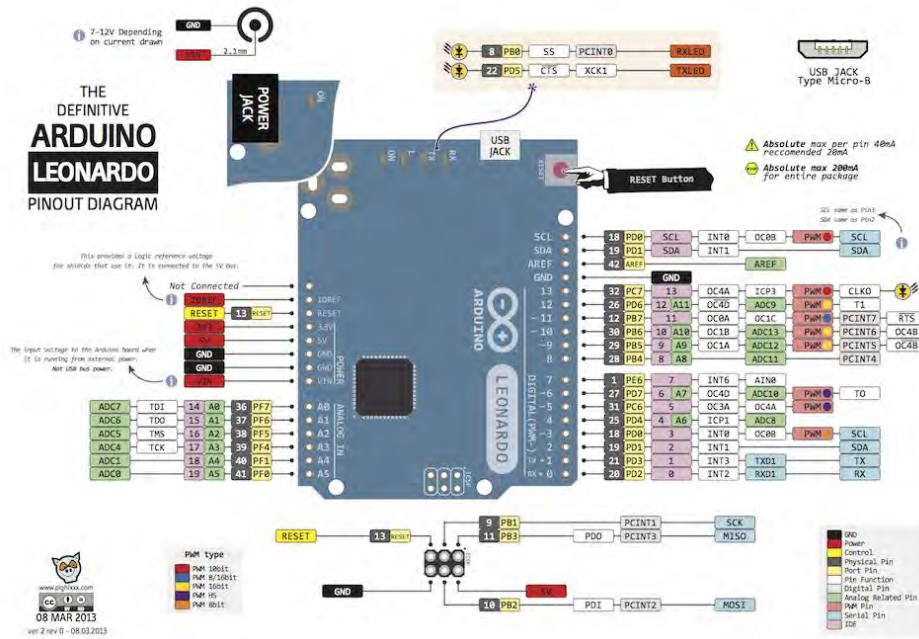
Bell, A.G., 1880. ART. XXXIV.--On the Production and Reproduction of Sound by Light. *American Journal of Science (1880-1910)*, 20(118), p.305.

Rosenzwaig, A. (1975). Photoacoustic Spectroscopy of Solids. *Physics Today*, 23-30.

Rosenzwaig, A., & Gersho, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, 47-64.

Al-asfoor, F. K. M., Yunus, W. M. M., Zakaria, A., Moxsin, M. M., Ridha, N. J., & Josephine, L. Y. C. (2008). Thermal effusivity measurement of virgin coconut oil-methanol mixtures using photoacoustic technique. *Am J Eng Appl Sci*, 1(3), 200-3.

ANEXO HOJAS TÉCNICAS



LED-DE POTENCIA GT-P03B3440560

LED-DE POTENCIA GT-P03B3440560
 Descripción:
 Diodo emisor de luz de alta potencia, encapsulado epoxico transparente de 5mm con disipador de calor, emite luz en color azul 50-60LM

Características:
 Amplio ángulo de visión
 Brillo Excepcional
 De alta intensidad y flujo luminoso
 Bajo voltaje de Forward
 Dispositivo sin mercurio y plomo

Aplicaciones:
 Iluminación para interiores y exteriores.
 Usos generales (aplicaciones en decoración)

Ejemplo circuito básico:

LEDs de potencia 5W

$V_{Total} = V_{LED1} + V_{LED2} + V_{LED3} + V_{LED4} + V_{LED5}$
 $V_{Total} < \text{Voltaje del carga de funcionamiento de la fuente}$

Ejemplo de conexión para un arreglo serial de LEDs de Potencia.
 Datos de la fuente de Corriente: (KLED-AC100-700A)
 V fuente = 13-27V
 I = 700mA
 Datos de un LED
 VF LED = 6.5V
 I = 800mA

Calculo de VF promedio total de circuito mostrado:
 $V_T = V_{F1} + V_{F2} + V_{F3} + \dots + V_{FN}$
 Para 2 LEDs el Voltaje total es de 13.6 volts
 Para 4 LEDs el Voltaje total es de 27.2 volts

Para conectar LEDs de Potencia de 1W en color blanco con esta fuente se recomienda:
 Mismo 2 LEDs
 Mismo 4 LEDs

NOTA: LA INTENSIDAD LUMINOSA, FLUJO LUMINOSO Y COBERTURAS DE CLIMÁTICAS DADO PUEBEN VARIAR ENTRE LOTES DIFERENTES. SE RECOMIENDA CONSULTAR LOS PARAMETROS CON EL DEPARTAMENTO DE ILUMINACIÓN

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Forward Current	I_f	800	mA
Power Dissipation	P_d	5000	mW
Operating Temperature range	T_{amb}	-40° - 70°	°C
Luminous flux	Φ_v	50-60	lm
Angle and half intensity	θ	120°	°deg
Forward Voltage	V_f	6.5 - 7.2	V
Wavelength	λ	460 - 470	nm

PRODUCTOS RELACIONADOS:
 Fuentes de corriente constante:

NO. PARTE:	CARACTERÍSTICAS
KLED-AC100-700A	700mA, 13-27 VCD
KLED-AC100-700B	700mA, 27-48 VCD
SA-10-700	1.3-15V 700mA

AG Electrónica S.A. de C.V.
 República del Salvador No.20 Segundo Piso
 Tel. 3130 - 7210

Simbolo:

Acotación: mm
 Tolerancia: ±0.5mm
 Fecha: 25/FEB/2010

www.agelectronica.com

Escala: 1:1
 Descripción: LED DE POTENCIA 5W AZUL 50-60LM 120GRADOS

Disño: OGC
 Revisio:



Número de parte AG
 GT-P03B3440560

www.agelectronica.com

LED-DE POTENCIA GT-P03G64405240

www.agelectronica.com

www.agelectronica.com

Ejemplo de cálculo para un arreglo serial de LEDs de Potencia:

Datos de la fuente de Corriente: (KLED-AC100-700A)
V fuente = 13-27V
I = 100mA

Datos de LED
VF LED = 5.8V
I = 800mA

Calculo de Vf promedio total de circuito mostrado:
 $V_T = VF1 + VF2 + VF3 + \dots + VNF$
Para 2 LEDs el Voltaje total es de 13.6volts
Para 3 LEDs el Voltaje total es de 20.4 volts

Para conectar LEDs de Potencia de 1W en color blanco con esta fuente se recomienda:
Mínimo 2 LEDs
Máximo 3 LEDs

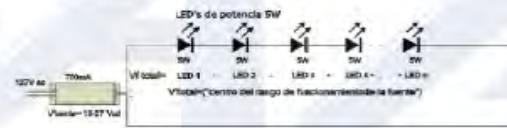
NOTA: LA INTENSIDAD LUMINOSA, FLUJO LUMINOSO Y COORDENAS DE CROMATICIDAD PUEDEN VARIAR ENTRE LOTES DIFERENTES. SE RECOMIENDA CONSULTAR ESTOS PARAMETROS CON EL DEPARTAMENTO DE ILUMINACION.

LED-DE POTENCIA GT-P03G64405240

Descripción:
Diodo emisor de luz de alta potencia, encapsulado epoxico transparente de 5mm con dissipador de calor, emite luz en color verde 200-300LM

Características:	Aplicaciones:
Amplio ángulo de visión Brillo Excepcional De alta intensidad y flujo luminoso Bajo voltaje de Forward Dispositivo sin mercurio y plomo	Iluminación para interiores y exteriores. Usos generales (aplicaciones en decoración)

Ejemplo circuito básico:





PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Forward Current	I_f	800	mA
Power Dissipation	P_f	5000	mW
Operating Temperature range	T_{amb}	-40° - 70°	°C
Luminous flux	Φ_v	200-300	lm
Angle and half intensity	θ	120°	°deg
Forward Voltage	V_f	6.5 - 7.2	V
Wavelength	λ	520 - 530	nm

PRODUCTOS RELACIONADOS:
Fuente de corriente constante


NO. PARTE	CARACTERÍSTICAS
KLED-AC100-700A	700mA, 13-27 VCD
KLED-AC100-700B	700mA, 27-36 VCD
EA-10-700	2.5-15V 700mA

Para determinar el número máximo y mínimo de LEDs que se pueden conectar a una fuente de corriente, es importante verificar la corriente de operación y el voltaje VF de cada LED, el cual varía según el color:

*Para conectar LEDs con IP=800mA, se recomienda conectarlos a una fuente de 700mA.

AG AG Electrónica S.A. de C.V.
República del Salvador No.20 Segundo Piso
Tel. 5130 - 7210

Simbolo: 

Adaptación:	www.agelectronica.com	Escala:	1:1	Diseño:	OGC
Tolerancia:	±0.5mm	Descripción:	LED DE POTENCIA 5W VERDE 200-300LM 120GRADOS		
Tolerancia:	±3°	Fecha:	25/FEB/2010	Número de parte AG:	GT-P03G64405240

mm	www.agelectronica.com	Escala:	1:1	Diseño:	OGC
±0.5mm	Descripción:	LED DE POTENCIA 5W VERDE 200-300LM 120GRADOS			
±3°	Fecha:	25/FEB/2010	Número de parte AG:	GT-P03G64405240	



www.agelectronica.com

www.agelectronica.com

LED-DE POTENCIA GT-P03R14405120

www.agelectronica.com

www.agelectronica.com

Ejemplo de cálculo para un arreglo serial de LEDs de Potencia:

Datos de la fuente de Corriente: (KLED-AC100-1500A)
V fuente = 13-27V
I = 1500mA

Datos de un LED
VF LED = 1.4V
I = 1800mA

Calculo de Vf promedio total de circuito mostrado:
 $V_T = VF1 + VF2 + VF3 + \dots + VNF$
Para 6 LEDs el Voltaje total es de 14.4 volts
Para 11 LEDs el Voltaje total es de 26.4 volts

Para conectar LEDs de Potencia de 1W en color blanco con esta fuente se recomienda:
Mínimo 6 LEDs
Máximo 11 LEDs

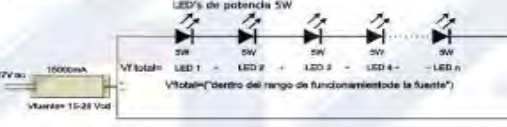
NOTA: LA INTENSIDAD LUMINOSA, FLUJO LUMINOSO Y COORDENAS DE CROMATICIDAD PUEDEN VARIAR ENTRE LOTES DIFERENTES. SE RECOMIENDA CONSULTAR ESTOS PARAMETROS CON EL DEPARTAMENTO DE ILUMINACION.

LED-DE POTENCIA GT-P03R14405120

Descripción:
Diodo emisor de luz de alta potencia, encapsulado epoxico transparente de 5mm con dissipador de calor, emite luz en color rojo 120-180LM

Características:	Aplicaciones:
Amplio ángulo de visión Brillo Excepcional De alta intensidad y flujo luminoso Bajo voltaje de Forward Dispositivo sin mercurio y plomo	Iluminación para interiores y exteriores. Usos generales (aplicaciones en decoración)

Ejemplo circuito básico:



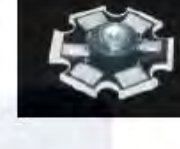

PARAMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Forward Current	I_f	1800	mA
Power Dissipation	P_f	5000	mW
Operating Temperature range	T_{amb}	-40° - 70°	°C
Luminous flux	Φ_v	120-180	lm
Angle and half intensity	θ	120°	°deg
Forward Voltage	V_f	2.4-2.6	V
Wavelength	λ	620-630	nm

PRODUCTOS RELACIONADOS:
Fuente de corriente constante


NO. PARTE	CARACTERÍSTICAS
KLED-AC100-1500A	1500mA, 13-27 VCD
KLED-AC100-1500B	1500mA, 27-36 VCD

Para determinar el número máximo y mínimo de LEDs que se pueden conectar a una fuente de corriente, es importante verificar la corriente de operación y el voltaje VF de cada LED, el cual varía según el color:

*Para conectar LEDs con IP=1800mA, se recomienda conectarlos a una fuente de 1.5A.

AG AG Electrónica S.A. de C.V.
República del Salvador No.20 Segundo Piso
Tel. 5130 - 7210

Simbolo: 

Adaptación:	www.agelectronica.com	Escala:	1:1	Diseño:	OGC
Tolerancia:	±0.5mm	Descripción:	LED DE POTENCIA 5W ROJO 120-180LM 120GRADOS		
Tolerancia:	±3°	Fecha:	25/FEB/2010	Número de parte AG:	GT-P03R14405120

mm	www.agelectronica.com	Escala:	1:1	Diseño:	OGC
±0.5mm	Descripción:	LED DE POTENCIA 5W ROJO 120-180LM 120GRADOS			
±3°	Fecha:	25/FEB/2010	Número de parte AG:	GT-P03R14405120	

www.agelectronica.com

www.agelectronica.com

LED-DE POTENCIA GT-P03Y24405120

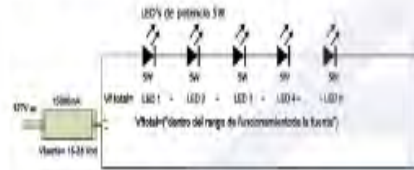
LED-DE POTENCIA GT-P03Y24405120

Descripción:
Diodo emisor de luz de alta potencia, encapsulado epóxido transparente de 5mm con disipador de calor, emite luz en color amarillo 120-180LM

Características:	Aplicaciones:
Amplio ángulo de visión	Iluminación para interiores y exteriores.
Beflo excepcional	Usoo generales (aplicaciones en decoración)
De alta intensidad y flujo luminoso	
Bajo voltaje de Forward	
Dispositivo sin mercurio y plomo	



Ejemplo circuito básico:



Ejemplo de cálculo para un arreglo serial de LEDs de Potencia:

Datos de la fuente de Corriente: (KLED-AC100-1500A)
V fuente = 15-27V
I = 1500mA
Datos de LED
VF LED = 2.5 V
If = 1800mA
Para conectar LEDs con If=1800mA se recomienda conectarlos a una fuente de 1500 mA

PARAMETRO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Corriente de Forward	I_f	1800mA	mA
Potencia de Disipación	P_d	5000	mW
Temperatura de Color	T_c		$^{\circ}K$
Flujo Luminoso	Φ_v	120-180	lm
Ángulo de Visión	ϕ	120°	grados
Voltaje de Forward	V_f	2.4 - 2.6	V
Longitud de onda	λ	580-590	nm
Temperatura de Operación	T	-35 + 80	$^{\circ}C$

PRODUCTOS RELACIONADOS:

NO. PARTE:	CARACTERISTICAS
KLED-AC100-1500A	1500mA, 13-27 VCD
KLED-AC100-1500B	1500mA, 27-86 VCD

Cálculo de VF promedio total del circuito montado:

$V_T = VF1 + VF2 + VF3 + \dots + VF_n$
Para 6 LEDs el Voltaje total es de 15.6 Voltio
Para 10 LEDs el Voltaje total es de 26 Voltio

Para conectar LEDs de Potencia de 5W con esta fuente se recomienda:

Mínimo 6 LEDs
Máximo 10 LEDs

Para determinar el número máximo y mínimo de LEDs que se pueden conectar a una fuente de corriente, es importante verificar la corriente de operación y el Voltaje VF de cada LED, el cual varía según el color.

 AG Electrónica S.A. de C.V. República del Salvador No. 20 Col. Centro C.P.: 06000 México, D.F.	Símbolo: 	
	Acotación: mm	www.agelectronica.com
Tolerancia: ±0.5mm	Descripción: LED DE POTENCIA 5W AMARILLO 120-180LM 120GRADOS	
Tolerancia: ±3°	Fecha: 18/JULIO/2010	Número de parte AG GT-P03Y24405120

Diseno: HLB
Rev. 1