

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Unidad Profesional Interdisciplinaria en
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
UPIITA

Trabajo Terminal

**“Sistema de Nefelometría Multi-Espectral y
Acústica para Análisis de Muestras de Agua”**

Que para obtener el título de

Ingeniero en Mecatrónica

Presenta:

**Caudillo Santos José Fernando
Villegas Aquino Ali**

Asesores:

M. en C. Jorge Fonseca Campos

Dra. Issis Claudette Romero Ibarra

M. en C. Leonardo Rivera Estrada



México, D. F., a 6 de Enero de 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Unidad Profesional Interdisciplinaria en
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
UPIITA

Trabajo Terminal

**“Sistema de Nefelometría Multi-Espectral y
Acústica para Análisis de Muestras de Agua”**

Que para obtener el título de

Ingeniero en Mecatrónica

Presenta:

**Caudillo Santos José Fernando
Villegas Aquino Ali**

Presidente del Jurado

Dr. Leonel Germán Corona Ramírez

Profesor Titular

D. en C. Rafael Trovamala Landa

Asesor

M. en C. Jorge Fonseca Campos

Asesor

Dra. Issis Claudette Romero Ibarra

Asesor

M. en C. Leonardo Rivera Estrada





Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe José Fernando Caudillo Santos
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los
derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Sistema de nefelometría multi-espectral y acústica para análisis de muestras
de agua.

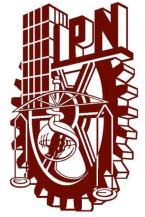
en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y
con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de
Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no
exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales,
Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación
de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha
de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no
dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor
de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales
de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no
contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo
de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la
autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos
industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de
propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de
cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., 19 de febrero de 2021

Atentamente



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Ali Villegas Aquino
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Sistema de nefelometría multi-espectral y acústica para análisis de muestras de agua

_____ ,
en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA “La Tesis” por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., 19 de febrero de 2021

Atentamente

Ali Villegas Aquino

Agradecimientos

José Fernando Caudillo Santos

Dedico esta tesis a mis padres, a mis hermanos, a mi familia y a todos los seres queridos que me han apoyado. Todas las personas quienes fueron un gran apoyo emocional, motivación e inspiración para seguir adelante en el transcurso de mi vida.

A dios por la vida de mis padres, de mis hermanos, de mi familia, de mis amigos, de mis compañeros y de mis seres queridos, porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que me quieren, que me estiman y que me aman.

A la vida por este triunfo y a todas las personas que creyeron en mí y que esperaban que lograré culminar mi carrera profesional satisfactoriamente.

A mis padres, quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos, quienes me forjaron como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros y metas se los debo a ustedes. Siempre me motivaron para alcanzar mis sueños y anhelos, aunque la situación estuviera muy complicada. Siempre estuvieron cuando los necesitaba y se sacrificaron para darme las herramientas de estudio que hoy me sirvieron para cumplir este logro más.

Al IPN, a la UPIITA y al CECyT 8, por formarme como un alumno y una persona autodidacta, interdisciplinaria, responsable, buscando siempre las mejores soluciones para resolver los problemas que se presenten en la Ingeniería y en otras áreas. Por ponerme retos académicos, físicos, emocionales, personales y profesionales que debí confrontar en México y en el Mundo para poder llegar a esta etapa de mi vida, colocándome a los mejores profesores y académicos de los cuales he recibido gran conocimiento y experiencia.

A mis compañeros, que siempre nos retábamos a ser mejores cada día realizando proyectos, prácticas, tareas y trabajos juntos y que a pesar de las complicaciones y dificultades que estos implicaban, siempre tuvimos la dicha de terminar todos y cada uno de los proyectos sin darnos por vencidos. Buscando siempre la mejor forma de resolver las cosas pensando como verdaderos ingenieros, pasando buenos ratos y momentos de amistad y compañerismo.

MUCHAS GRACIAS.

Ali Villegas Aquino

Dedico esta tesis con todo mi amor a mi familia y a cada una de las personas que me han brindado su apoyo en todo momento y que son parte de este nuevo logro.

Con mucho cariño, al ser más maravilloso que la vida me pudo brindar, mi madre. Quien me dio la vida, la educación y ha estado conmigo en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado apoyándome y brindándome todo tu amor. Tus esfuerzos son impresionantes, gracias a ti es que me he atrevido a dar grandes pasos en mi vida y convertirme en la persona que actualmente soy.

A mis profesores, a quienes agradezco de todo corazón sus enseñanzas brindadas a lo largo de estos 5 años que estuve en la Licenciatura. No ha sido un proceso sencillo, pero gracias a su arduo trabajo, me transmitieron conocimientos invaluable que fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

A todos y cada uno de mis compañeros con los que tuve el placer de coincidir en esta formación y de los cuales surgió una gran amistad. Me llevo un grato recuerdo de ustedes y sin importar a donde nos lleve el destino siempre estaré para lo que necesiten.

Mi agradecimiento al IPN y a la UPIITA, por haber permitido formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos, con constancia, dedicación y esfuerzo. Por abrirme las puertas para crecer personal y profesionalmente y sobre todo por forjarme como un alumno de buenos valores y darme la capacidad para resolver problemas en la ingeniería y en la vida cotidiana. Las oportunidades que el instituto me ha brindado son incomparables por lo cual siempre llevaré el orgullo de ser politécnico dentro de mí.

Por último, pero no menos importante, le agradezco a Dios y a la vida por haberme permitido cumplir con mis metas. Este trabajo representa la culminación de uno de mis más grandes sueños que corresponde a la obtención de mi título profesional.

Se agradece al proyecto SECTEI 289/2019 de la CDMX

Se agradece al Instituto Mexicano del Petróleo

Contenido

Índice de Figuras	v
Índice de Tablas.....	xi
Resumen	xiii
Palabras clave	xiii
Abstract.....	xiv
Key Words.....	xiv
Introducción.....	xv
Capítulo 1: Descripción del Trabajo.....	16
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 Estado del arte	21
1.5 Marco teórico.....	23
1.5.1 Antecedentes	23
1.5.2 Marco conceptual	30
Capítulo 2: Diseño Conceptual.....	50
2.1 Necesidades y requerimientos del sistema	51
2.2 Áreas funcionales	52
2.3 Bosquejo del diseño conceptual en CAD	54
2.4 Diagrama IDEF-0	55
2.5 Análisis morfológico	58
2.6 Selección ponderada.....	61
2.6.1 Almacenar una muestra de agua para el sistema de nefelometría.....	62
2.6.2 Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua.....	62
2.6.3 Controlar la selección de las fuentes de luz	63
2.6.4 Realizar las mediciones de las fuentes de luz	63
2.6.5 Generar las obturaciones para excitar las fuentes de luz.....	64
2.6.6 Almacenar una muestra de agua para el sistema acústico.....	64
2.6.7 Emitir y recibir las señales de ultrasonido	65
2.6.8 Alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores.....	65
2.6.9 Procesar información del sistema de nefelometría y acústica.....	66
2.6.10 Enviar y recibir información entre el procesador y el sistema nefelométrico....	66
2.6.11 Enviar y recibir información entre el procesador y el sistema acústico.....	67
2.6.12 Enviar y recibir información entre el procesador y la PC	67
2.6.13 Visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas	68
2.6.14 Posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría.....	68
2.6.15 Obturar mecánicamente a la fuente de luz uv (troceador mecánico).....	69
2.6.16 Posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría.....	69

2.6.17	Posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua	70
2.7	WBS	75
Capítulo 3: Diseño Detallado		76
3.1	Sistema de nefelometría.....	77
3.1.1	Componentes electrónicos.....	78
3.1.1.1	Fuentes de emisión de luz UV	78
3.1.1.2	Fuentes de emisión de luz VIS	81
3.1.1.3	Fuentes de emisión de luz IR.....	83
3.1.1.4	Sensores ópticos.....	84
3.1.1.5	Motores, drivers y anillo de conectores	85
3.1.1.6	Obturador eléctrico	88
3.1.1.7	Electrónica y acondicionamiento de señal.....	89
3.1.2	Sistema óptico	92
3.1.2.1	Disco troceador	92
3.1.2.2	Lente	92
3.1.2.3	Rendija	93
3.1.2.4	Difusor	93
3.1.2.5	Probeta	94
3.1.3	Control de Nefelometría.....	94
3.1.3.1	Funciones para el control del registro de desplazamiento	94
3.1.3.2	Funciones para el control del revolver de fuentes de luz.....	96
3.1.3.3	Funciones para el control del troceador mecánico.....	98
3.1.3.4	Funciones para el control del troceador eléctrico	100
3.1.3.5	Funciones para el control del revolver del sensor espectrofotómetro.....	101
3.1.3.6	Funciones para el control del mecanismo de sensores	104
3.1.3.7	Funciones para el control de recepción de intensidad de luz.....	106
3.2	Sistema acústico	107
3.2.1	Componentes electrónicos.....	108
3.2.1.1	Transductor ultrasónico	108
3.2.1.2	Drivers del transductor y oscilador.....	108
3.2.2	Control acústico.....	109
3.2.2.1	Generación, recepción de las señales de ultrasónico y lectura del tiempo digital de las señales del transductor	109
3.2.2.2	Contenedor de agua para la propagación del eco.....	113
3.3	Sistema eléctrico y electrónico	114
3.3.1	Alimentación eléctrica.....	114
3.3.1.1	Fuente de alimentación, reguladores y baterías	114
3.3.2	Circuitos eléctricos y placas.....	116
3.3.2.1	Tarjeta de control (Placa principal del microcontrolador y reguladores de tensión)	117
3.3.2.2	Registro de desplazamiento	119
3.3.2.3	Circuito obturador eléctrico	120
3.3.2.4	Circuito revolver de fuentes de luz y encendido de fuentes de luz.....	124

3.3.2.5	Espectrofotómetro y amplificador del sensor UV	130
3.3.2.6	Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV.....	133
3.3.2.7	Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto	134
3.3.2.8	Circuito de PWM	135
3.3.2.9	Circuito de potencia del motor troceador.....	136
3.3.2.10	Circuito de potencia del motor a pasos	137
3.3.2.11	Circuito de transductor ultrasónico.....	139
3.3.2.12	Circuito de acondicionamiento para los sensores ópticos (fotodiodos)....	140
3.4	Sistema de análisis y procesamiento	153
3.4.1	Unidad de procesamiento	153
3.4.1.1	Microcontrolador	153
3.4.2	Unidad de análisis	154
3.4.2.1	Software intérprete.....	154
3.5	Sistema mecánico	155
3.5.1	Selección de materiales	155
3.5.2	Estructura general y chasis.....	157
3.5.3	Revolver de fuentes de luz	159
3.5.4	Revolver del sensor espectrofotómetro	162
3.5.5	Troceador mecánico	163
3.5.6	Mecanismo de selección de los sensores ópticos	165
3.5.7	Soporte de la celda de cuarzo y el lente de cuarzo	180
3.5.8	Soporte para la lámpara.....	182
3.5.9	Soporte del micro motorreductor	182
3.5.10	Soportes de los motores a pasos	183
3.5.11	Ensamble del sistema de nefelometría	184
3.5.12	Soporte del contenedor.....	185
3.5.13	Soporte del transductor ultrasónico.....	185
3.5.14	Ensamble del sistema acústico	186
3.5.15	Sistema hidráulico	187
3.6	Máquina de estados	188
3.7	Prototipo final	191
Capítulo 4: Implementación y construcción.....		192
4.1	Estructura general y soportes.....	193
4.1.1	Manufactura de la estructura general	193
4.1.2	Manufactura del chasis y paredes para la estructura	196
4.1.3	Ensamble de la estructura y las paredes	197
4.1.4	Manufactura del disco troceador	198
4.1.5	Manufactura de los soportes para el mecanismo de los receptores ópticos	199
4.1.6	Manufactura del contenedor de agua del sistema acústico	200
4.1.7	Manufactura del soporte para la celda de cuarzo	200
4.2	Manufactura del sistema eléctrico y electrónico	201
4.2.1	Tarjeta de control	202
4.2.2	Circuito obturador eléctrico	203

4.2.3	Circuito revolver de fuentes de luz	203
4.2.4	Espectrofotómetro y sensor UV	204
4.2.5	Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV	205
4.2.6	Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto	206
4.2.7	Circuito de PWM, Motorreductor y Amplificador.....	206
4.2.8	Circuito de potencia de motor a pasos	207
4.2.9	Circuito de transductor ultrasónico	208
4.3	Programación del microcontrolador e interfaz gráfica	208
4.4	Ensamble del prototipo y pruebas de funcionamiento.....	217
4.4.1	Montaje de los circuitos electrónicos	217
4.4.2	Pruebas del circuito obturador eléctrico.....	218
4.4.3	Ensamble del mecanismo de posición de los receptores ópticos	219
4.4.4	Pruebas de ascenso y descenso del mecanismo de posición de los receptores ópticos	221
4.4.5	Ensamble del troceador mecánico.....	222
4.4.6	Pruebas de encendido del revolver de fuentes de luz.....	222
4.4.7	Ensamble del revolver de fuentes de luz.....	223
4.4.8	Ensamble del soporte de la celda de cuarzo	224
4.4.9	Pruebas finales del mecanismo de posición de los receptores ópticos.....	225
4.4.10	Ensamble del revolver de fuentes de luz con el soporte de la celda de cuarzo y el troceador mecánico	226
4.4.11	Pruebas del revolver de leds con el obturador eléctrico	228
4.4.12	Ensamble de la lámpara UV en la estructura	229
4.4.13	Pruebas de la lámpara UV y del obturador mecánico	230
4.4.14	Prototipo Final.....	231
4.4.15	Pruebas de la rutina de calibración del sistema e interfaz gráfica.....	233
Capítulo 5: Análisis de resultados		235
5.1	Calibración del sistema.....	236
5.2.1	Preparación de las disoluciones patrón	237
5.2.2	Detección de la longitud de onda en donde se muestra mayor absorción	241
5.2.3	Curvas de calibración	245
5.2	Pruebas finales y resultados.....	250
Capítulo 6: Conclusiones.....		262
6.1	Conclusiones.....	263
6.2	Trabajo futuro	268
Capítulo 7: Anexos		269
7.1	Presupuesto	270
7.2	Distribución de Pines.....	278
7.3	Evidencias de las pruebas realizadas	280
7.4	Código del proceso	284
7.5	Planos	292
Glosario		311
Referencias		315

Índice de Figuras

Figura 1. Nefelómetro C-102. [18].....	27
Figura 2. Dispositivo TestDrop. [19]	28
Figura 3. Branson 1510 Ultrasonic Cleaner. [20]	29
Figura 4. Técnica de Nefelometría y Turbidimetría.....	34
Figura 5. Boceto en 3D del diseño de medición Nefelométrica y Turbidimétrica. [26]	34
Figura 6. Ejemplo de luz incidente y luz transmitida. [27]	36
Figura 7. Partículas pequeñas de 1/10 de la longitud de onda, la dispersión es simétrica [34].....	39
Figura 8. En partículas de 1/4 de la longitud de onda, la dispersión se concentra hacia adelante [34] ...	40
Figura 9. En partículas más grandes que la longitud de onda, la dispersión se concentra extremadamente hacia adelante. También se desarrollan máximos y mínimos de intensidad de dispersión en diferentes ángulos. [34].....	40
Figura 10. Reflexión de la onda de sonido con un objeto. [37]	42
Figura 11. Ejemplo de las señales emisoras y receptoras de un transductor ultrasónico. [39].....	43
Figura 12. Identificación del pulso de "STOP". [39]	43
Figura 13. Señales del transductor acústico en osciloscopio. [40].....	44
Figura 14. Señal ECHO/RX en rebotes. [39]	45
Figura 15. Ejemplo de curva de calibración por longitud de onda del sistema nefelométrico.....	48
Figura 16. Ejemplo de Serie de tiempo para el sistema acústico. [49].....	49
Figura 17. Ejemplo de Transformada de Fourier de la serie de tiempo del sistema acústico. [49]...	49
Figura 18. Bosquejo del diseño conceptual del sistema nefelométrico y acústico.....	54
Figura 19. Bosquejo del diseño conceptual en SolidWorks del sistema nefelométrico y acústico...	55
Figura 20. Diagrama IDEF-0 para el Sistema Nefelométrico Multi-Espectral.	56
Figura 21. Diagrama IDEF-0 para el Sistema Acústico	57
Figura 22. Diagrama WBS para el proyecto.	75
Figura 23. Partes del Sistema de nefelometría.	77
Figura 24. Lámpara germicida – UV. [50].....	78
Figura 25. Led SMD UV de 265 - 285 nm. [48].....	78
Figura 26. Led SMD UV de 278 nm. [49]	78
Figura 27. Led SMD UV de 275nm - 286nm.....	79
Figura 28. Led SMD UV de 280nm - 286nm.....	79
Figura 29. Led SMD UV de 365nm – 370nm. [51]	79
Figura 30. LED SMD Ultravioleta. [55]	79
Figura 31. Led de Potencia UV de 375nm - 380nm [56].....	80
Figura 32. Led DIP 5mm Ultravioleta cercano. [57]	80
Figura 33. Espectro de la lámpara medida con el espectrofotómetro.....	80
Figura 34. Led DIP 5mm VIS de 380nm – 420nm. [58].....	81
Figura 35. Led DIP 5mm VIS de 420nm-440nm. [59]	81
Figura 36. Led DIP 5mm VIS de 600nm-650nm. [60]	81
Figura 37. Led DIP 5mm VIS de 550nm - 600nm [61]	81
Figura 38. Led DIP 5mm VIS de 450nm - 500nm [62]	82
Figura 39. Led DIP 5mm VIS de 490nm - 540nm. [63]	82
Figura 40. Led DIP 5mm VIS de 600nm – 650nm. [64].....	82
Figura 41. Led DIP 5mm VIS Blanco Puro. [65].....	82
Figura 42. Led Infrarrojo de 875nm. [66]	83

Figura 43. Led Infrarrojo de 875nm. [67]	83
Figura 44. Led Infrarrojo de 875nm. [68]	83
Figura 45. Led Infrarrojo de 940 nm. [69]	83
Figura 46. Diodo Led Infrarrojo 950nm. [70]	84
Figura 47. Espectrofotómetro SparkFun AS7265x. [71]	84
Figura 48. Sensor UV. UVM30A. [72]	85
Figura 49. Motorreductor 5:1. [73]	85
Figura 50. Puente H para Motor CD. [74]	85
Figura 51. Motor a pasos, bipolar NEMA 17. [75]	86
Figura 52. Micro Servomotor Tower Pro SG90. [76]	86
Figura 53. Micro Servomotor Tower Pro SG90. [77]	87
Figura 54. Anillo Conector de 6 Hilos [78]	87
Figura 55. LM555 de SMD [79]	88
Figura 56. AD5206BRUZ10 Potenciómetro Digital	88
Figura 57. Integrado de Registro de Desplazamiento 75HC595 [81]	89
Figura 58. Compuerta Lógica AND [82]	89
Figura 59. Transistor NPN de SMD [83]	89
Figura 60. Transistor NPN [84]	90
Figura 61. Amplificador Operacional OpAmp [85]	90
Figura 62. MOC3023 [86]	90
Figura 63. TIC226D [87]	91
Figura 64. TCST2103, Fototransistor [88]	91
Figura 65. Opto acoplador PC817 [89]	91
Figura 66. Medidas del disco troceador y Modelo 3D.	92
Figura 67. Lente convexa de cristal de cuarzo. [91]	92
Figura 68. Modelo en 3D de la Rendija.	93
Figura 69. Difusor Óptico.	93
Figura 70. Celda de cuarzo. [94]	94
Figura 71. Posición de las fuentes de Luz.	94
Figura 72. Diagrama de flujo de las funciones para el control del registro de desplazamiento.	95
Figura 73. Diagrama de flujo de las funciones para el control de posición del revolver de fuentes.	97
Figura 74. Diagrama de flujo de las funciones de troceador mecánico.	99
Figura 75. Diagrama de flujo de las funciones para el control de troceador eléctrico.	101
Figura 76. Posición de los fotodiodos en el espectrofotómetro.	102
Figura 77. Longitudes de onda de cada canal del espectrofotómetro.	102
Figura 78. Diagrama de flujo de las funciones para el control del revolver del sensor espectrofotómetro.	103
Figura 79. Posición de los sensores ópticos.	104
Figura 80. Diagrama de flujo de las funciones para el control de mecanismo de sensores.	105
Figura 81. Diagrama de flujo de las funciones para el control de recepción de luz.	106
Figura 82. Diagrama General del Sistema Acústico.	107
Figura 83. Transductor Acústico propiedad del IMP.	108
Figura 84. TDC1011 PWR [95].	108
Figura 85. TDC7200 PWR. [96]	109
Figura 86. Oscilador SMD de 12MHz [97]	109
Figura 87. Conexión típica de los integrados TDC1011 y TDC7200. [98]	110

Figura 88. Diagrama de flujo de las funciones para el control del transductor acústico y la transformación de tiempo a digital.....	111
Figura 89. Modelo en 3D del contenedor de la muestra para el análisis acústico.....	113
Figura 90. Diagrama a bloques de la conexión del suministro eléctrico.....	114
Figura 91. Fuente de Alimentación S-25-12. [97].....	114
Figura 92. Regulador L7812CV. [100].....	115
Figura 93. Regulador L7809CV. [101].....	115
Figura 94. Regulador L7805CV. [102].....	115
Figura 95. Regulador MCP1725. [103].....	115
Figura 96. Celda de cuarzo. [104].....	115
Figura 97. Diagrama a bloques de la conexión entre los circuitos eléctricos.....	116
Figura 98. Diagrama esquemático de las conexiones al microcontrolador.....	118
Figura 99. Diagrama esquemático del circuito de alimentación al microcontrolador.....	118
Figura 100. Diseño del PCB y Modelo en 3D de la Tarjeta de Control.....	119
Figura 101. Diagrama esquemático del circuito de registro de desplazamiento.....	120
Figura 102. Configuración Astable del integrado 555. [106].....	120
Figura 103. Diagrama esquemático del circuito obturador eléctrico.....	122
Figura 104. Simulaciones realizadas para verificar la obturación eléctrica: a) $f=10\text{Hz}$, b) $f=1\text{kHz}$, c) Salida Constante.....	123
Figura 105. Diseño del PCB y Modelo en 3D del Circuito de Obturación Eléctrica.....	123
Figura 106. Conexión Eléctrica para determinar el valor de la Resistencia Limitadora de cada LED. [107].....	124
Figura 107. Diagrama esquemático del circuito de encendido de las fuentes de luz.....	127
Figura 108. Diseño del PCB y Modelo del Revolver de Fuentes de Luz.....	129
Figura 109. Circuito Amplificador No Inversor. [108].....	130
Figura 110. Simulación del amplificador para el sensor UV en Multisim®.....	131
Figura 111. Diagrama esquemático del circuito amplificador del sensor UV y espectrofotómetro.....	132
Figura 112. Diseño del PCB y Modelo 3D del Espectrofotómetro y Amplificador del Sensor UV.....	132
Figura 113. Diagrama esquemático de potencia del encendido de la lámpara UV.....	133
Figura 114. Diseño del PCB y modelo 3D del circuito de potencia de encendido de la lámpara UV.....	133
Figura 115. Diagrama esquemático del detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto.....	134
Figura 116. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto.....	135
Figura 117. Diagrama esquemático de circuito PWM.....	135
Figura 118. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito esquemático de circuito PWM.....	136
Figura 119. Diagrama esquemático del circuito de potencia del motor troceador.....	136
Figura 120. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de potencia del motor troceador.....	137
Figura 121. Diagrama esquemático del circuito de potencia de los motores a pasos.....	138
Figura 122. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de potencia de motores a pasos.....	138
Figura 123. Diagrama esquemático del circuito controlador del transductor ultrasónico.....	139
Figura 124. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de transductor ultrasónico.....	140
Figura 125. Etapas del circuito de acondicionamiento de los sensores ópticos.....	140
Figura 126. Conexión de un fotodiodo al amplificador de transimpedancia. [110].....	141
Figura 127. Simulación realizada para verificar el comportamiento del Amplificador de Transimpedancia.....	144
Figura 128. Voltaje de salida del amplificador para una corriente de entrada de 0 a 50uA.....	144

Figura 129. Función de Transferencia teórica para Filtro Pasabajas de 6° orden Butterworth. [114] ..	147
Figura 130. Diagrama a bloques de un Filtro de 6° orden de Butterworth.	147
Figura 131. Filtro Pasa-bajas Sallen-Key de ganancia unitaria.....	148
Figura 132. Diagrama Eléctrico del Filtro de 6° orden de Butterworth con células Sallen-Key. ...	150
Figura 133. Simulación realizada para verificar el comportamiento del Filtro: a) $f=900\text{Hz}$, b) $f=1.3\text{kHz}$, c) $f=3\text{kHz}$	150
Figura 134. Circuito de acondicionamiento para los sensores ópticos (fotodiodos).....	151
Figura 135. Matrices de los fotodiodos AS7265x.....	151
Figura 136. AS7265x 18 canales de respuesta espectral.....	152
Figura 137. ChipKIT uC32. [105].....	153
Figura 138. Bosquejo de la Interfaz Gráfica.	154
Figura 139. Vista Isométrica de la estructura del prototipo.	157
Figura 140. Vista isométrica de la estructura general y la división de las secciones del prototipo.	158
Figura 141. Vista isométrica de la Estructura General.....	159
Figura 142. Plano del disco revolver de leds.....	160
Figura 143. Mecanismo Revolver de fuentes de luz. Realizado en Solid Works.....	160
Figura 144. Barreno por donde pasará los cables del anillo de conectores a los headers del disco revolver.	161
Figura 145. Buje de aluminio de montaje universal. [120].....	161
Figura 146. Posición de los sensores del espectrofotómetro.....	162
Figura 147. Montaje del sensor espectrofotómetro sobre el servomotor.	162
Figura 148. Mecanismo de troceador mecánico.....	163
Figura 149. Buje de aluminio de montaje universal de 3mm [121].....	164
Figura 150. Análisis de un tornillo como un bloque y un plano inclinado. [123].....	165
Figura 151. Tornillo ACME Tr8x8. [124]	166
Figura 152. Tuerca Brida T8 para tornillo ACME. [124].....	166
Figura 153. Diagrama de Fuerzas para el movimiento hacia arriba del tornillo. [123].....	167
Figura 154. Motor a pasos, bipolar NEMA 17. [75].....	170
Figura 155. Cople Flexible 5x8x25mm. [127].....	170
Figura 156. Soporte para los sensores ópticos.	171
Figura 157. Montaje de los sensores ópticos sobre el soporte.	172
Figura 158. Diagrama de Cuerpo Libre para una Viga doblemente empotrada. [128].....	172
Figura 159. Tubo de Acero. [129].....	174
Figura 160. Chumacera KFL08. [132].....	176
Figura 161. Soporte para fijar las chumaceras del extremo superior	177
Figura 162. Distancias consideradas para posicionar los sensores ópticos	177
Figura 163. Mecanismo de la selección de los sensores.	180
Figura 164. Modelo del soporte de la celda de cuarzo.	180
Figura 165. Soporte de la celda de cuarzo incluido en el mecanismo.....	181
Figura 166. Soportes y ensamble de la lámpara UV.	182
Figura 167. Soporte para micro motorreductor metálico.	182
Figura 168. Soporte para el Motor a pasos Nema 17.	183
Figura 169. Soporte de motor a pasos de mecanismo de posicionamiento de sensores.....	183
Figura 170. Modelo en 3D del ensamble del sistema nefelométrico.	184
Figura 171. Vista Superior del ensamble del sistema nefelométrico.	184
Figura 172. Soporte en 3D del contenedor del ultrasónico.	185
Figura 173. Soporte del transductor ultrasónico en 3D.....	185

Figura 174. Ensamble del sistema acústico.....	186
Figura 175. Máquina de estados del prototipo en funcionamiento.	190
Figura 176. Diseño final del prototipo.	191
Figura 177. Distribución de los componentes del prototipo en la estructura.	191
Figura 178. Proceso de corte y limpieza del perfil IPS 20x20.	194
Figura 179. Proceso de corte y barrenos de la base de la estructura de MDF.....	195
Figura 180. Finalización de la estructura principal.	195
Figura 181. Finalización de las paredes de MDF para la estructura.	196
Figura 182. Ensamble de la estructura con las paredes de MDF manufacturadas.	197
Figura 183. Troceador Mecánico ensamblado.	198
Figura 184. Soporte del motor a pasos para el mecanismo de receptores ópticos.	199
Figura 185. Soporte manufacturado para los sensores ópticos.	199
Figura 186. Soporte manufacturado para la celda de cuarzo.....	200
Figura 187. Tarjeta de control manufacturada y montada en la tarjeta ChipKIT uC32	202
Figura 188. Circuito obturador eléctrico manufacturado.	203
Figura 189. Circuito Revolver de fuentes de luz manufacturado, vistas anverso y reverso.....	203
Figura 190. Corte en círculo del Revolver de Fuentes de Luz.	204
Figura 191. Circuito del Espectrofotómetro y sensor UV manufacturado.	204
Figura 192. Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV manufacturado.....	205
Figura 193. Circuito de detector de barrera infrarrojo manufacturado.	206
Figura 194. Circuito de PWM, Motorreductor y Amplificador manufacturado.	206
Figura 195. Circuito de potencia de motor a pasos manufacturado.	207
Figura 196. Diagrama de Flujo de la secuencia de calibración entre el microcontrolador y el software.....	209
Figura 197. Diagrama de flujo de procesos internos en el microcontrolador y la interfaz gráfica.	211
Figura 198. Funciones de los tipos de análisis del microcontrolador.....	212
Figura 199. Interfaz Gráfica del Sistema de Nefelometría hecho en SharpDevelop.....	213
Figura 200. Mensaje de inicio para un proceso de medición de muestras.	213
Figura 201. Mensaje de ingreso de la muestra.	214
Figura 202. Mensaje de aviso de fin de análisis.....	215
Figura 203. Gráfica de absorbancia para una muestra.	215
Figura 204. Exportación de datos a Microsoft Excel.	216
Figura 205. Mensaje de salida.....	216
Figura 206. Montaje de los circuitos electrónicos en la estructura general.....	217
Figura 207. Pruebas de funcionamiento del obturador eléctrico con un led blanco conectado a la señal de salida.	218
Figura 208. Ensamble de los sensores ópticos en su soporte.	219
Figura 209. Ensamble de mecanismo de los sensores ópticos.	220
Figura 210. Prueba de ascenso y descenso realizada al mecanismo de los receptores ópticos.	221
Figura 211. Soporte superior para guiar al mecanismo de posición de los receptores ópticos.	221
Figura 212. Ensamble del troceador mecánico en la estructura general.	222
Figura 213. Prueba de encendido del revolver de fuentes de luz.	222
Figura 214. Ensamble del revolver de fuentes de luz en la estructura.	223
Figura 215. Ensamble del soporte de la celda de cuarzo en la estructura general.....	224
Figura 216. Prueba para posicionar a los sensores del espectrofotómetro.	225
Figura 217. Prueba para posicionar a los sensores del mecanismo enfrente de la ventana óptica. .	225
Figura 218. Ensamble del soporte de la celda de cuarzo y del revolver de fuentes de luz.....	226

Figura 219. Posicionamiento de una de las fuentes de luz a través de la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo.	226
Figura 220. Ensamble del revólver, el soporte de la celda de cuarzo y el troceador mecánico.	227
Figura 221. Vista superior del ensamblaje del revólver, el troceador mecánico y el soporte de la celda.	227
Figura 222. Prueba del revolver de leds con luz obturada.	228
Figura 223. Prueba para posicionar las fuentes de luz en la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo.	228
Figura 224. Ajuste de la lámpara UV en el dispositivo.....	229
Figura 225. Diferentes vistas del ensamble de la lámpara UV.....	230
Figura 226. Pruebas del funcionamiento de la lámpara UV.....	230
Figura 227. Obturación mecánica del haz de luz de la lámpara UV.....	231
Figura 228. Ensamble del resto de los módulos y circuitos electrónicos.....	232
Figura 229. Ensamble final del prototipo.....	232
Figura 230. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz UV... ..	233
Figura 231. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz VIS. ..	234
Figura 232. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz IR.....	234
Figura 233. Curva de calibración. [134]	237
Figura 234. Preparación de las disoluciones de agua con sal.....	238
Figura 235. Preparación de las disoluciones de agua con pintura vegetal azul.....	239
Figura 236. Preparación de las disoluciones de agua con vino tinto tipo Jerez.	240
Figura 237. Espectro obtenido de la disolución del agua con sal.....	242
Figura 238. Espectro obtenido de la disolución del agua con la pintura vegetal azul.....	242
Figura 239. Espectro obtenido de la disolución del agua con el vino tinto tipo Jerez.	243
Figura 240. Curva obtenida para el agua con sal a 625nm.....	245
Figura 241. Curva de calibración para la pintura vegetal azul.....	246
Figura 242. Curva de calibración considerada para la pintura vegetal azul y su linealización.	247
Figura 243. Curva de calibración para el vino tinto tipo Jerez y su linealización.....	248
Figura 244. Área de trabajo para realizar las pruebas de funcionamiento.	250
Figura 245. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra P6.	251
Figura 246. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra P8.	251
Figura 247. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra V1.	252
Figura 248. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra V3.	252
Figura 249. Conexión del circuito de barrido en frecuencias con el transductor, el software controlador y el osciloscopio.....	280
Figura 250. Amplitud de excitación del transductor	281
Figura 251. Frecuencias de excitación del Transductor	281
Figura 252. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 20kHz	282
Figura 253. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 2MHz.....	282
Figura 254. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 1.45MHz.....	283
Figura 255. Espectro electromagnético [145]	312
Figura 256. Espectro Electromagnético. [146].....	312

Índice de Tablas

Tabla 1. Necesidades y Requerimientos.	52
Tabla 2. Sistemas, Subsistemas y Tareas del proyecto.	53
Tabla 3. Matriz Morfológica.	58
Tabla 4. Rubros para la matriz ponderada.....	61
Tabla 5. Matriz de ponderación para almacenar una muestra de agua para el sistema de nefelometría.....	62
Tabla 6. Matriz de ponderación para Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua.	62
Tabla 7. Matriz de ponderación para controlar la selección de las fuentes de luz.	63
Tabla 8. Matriz de ponderación para realizar las mediciones de las fuentes de luz.	63
Tabla 9. Matriz de ponderación para generar las obturaciones para excitar las fuentes de luz.	64
Tabla 10. Matriz de ponderación para almacenar una muestra de agua para el sistema acústico.	64
Tabla 11. Matriz de ponderación para emitir y recibir las señales de ultrasonido.	65
Tabla 12. Matriz de ponderación para alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores.	65
Tabla 13. Matriz de ponderación para procesar información del sistema de Nefelometría y Acústica.	66
Tabla 14. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y el sistema nefelométrico.....	66
Tabla 15. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y el sistema acústico.....	67
Tabla 16. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y la PC.	67
Tabla 17. Matriz de ponderación para visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas.	68
Tabla 18. Matriz de ponderación para posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría. 68	
Tabla 19. Matriz de ponderación para obturar mecánicamente a la fuente de Luz UV (Troceador Mecánico).....	69
Tabla 20. Matriz de ponderación para posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría.....	69
Tabla 21. Matriz de ponderación para posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua.	70
Tabla 22. Ruta Crítica obtenida de las Matrices Ponderadas.	71
Tabla 23. Fuentes de luz del espectro UV.....	78
Tabla 24. Fuentes de luz del espectro VIS.	81
Tabla 25. Fuentes de luz del espectro IR.....	83
Tabla 26. Fuente de alimentación, reguladores de tensión y baterías.	114
Tabla 27. Resistencia Limitadora calculada para cada LED UV del sistema nefelométrico.	125
Tabla 28. Resistencia Limitadora calculada para cada LED VIS del sistema nefelométrico.	125
Tabla 29. Resistencia Limitadora calculada para cada LED IR del sistema nefelométrico.	126
Tabla 30. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes UV.....	128
Tabla 31. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes VIS.....	128
Tabla 32. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes IR.	129
Tabla 33. Parámetros del Fotodiodo BPW34. [111]	142
Tabla 34. Coeficientes para un filtro de 6° de Butterworth. [115].....	147
Tabla 35. Parámetros calculados realizados para el filtro pasa-bajas de 6° orden.	149

Tabla 36. Parámetros considerados para la selección de materiales.	155
Tabla 37. Materiales y características de los materiales seleccionados para la carcasa y la estructura.	156
Tabla 38. Distancias de las 3 Posiciones de los sensores ópticos al cero pieza del mecanismo.	178
Tabla 39. Resolución ofrecida por diferentes configuraciones del driver de los motores a pasos. .	178
Tabla 40. Número de pasos requeridos en cada configuración del driver para una posición deseada.	179
Tabla 41. Nomenclatura utilizada en la máquina de estados.....	188
Tabla 42. Máquinas, herramientas e instrumentos utilizados para la manufactura de la estructura.	193
Tabla 43. Herramientas e instrumentos utilizados para la manufactura de los PCB's.....	201
Tabla 44. Trama de Datos del Software al Microcontrolador.....	208
Tabla 45. Trama de Datos del Microcontrolador al Software.....	208
Tabla 46. Frecuencias generadas del circuito obturador.	218
Tabla 47. Disoluciones patrón realizadas para la sal de mesa (NaCl) a una temperatura de 20°C. 239	
Tabla 48. Disoluciones patrón realizadas para la pintura vegetal a una temperatura de 20°C.....	240
Tabla 49. Disoluciones patrón realizadas para el vino tinto tipo Jerez a una temperatura de 20°C.241	
Tabla 50. Mediciones prueba con agua destilada de las longitudes de onda a trabajar.....	244
Tabla 51. Resultados finales obtenidos para las pruebas realizadas con la pintura vegetal.	252
Tabla 52. Resultados finales obtenidos para las pruebas realizadas con el vino tinto tipo Jerez. ...	253
Tabla 53. Concentraciones obtenidas de la pintura vegetal diluida en agua después de 10 días	254
Tabla 54. Medida de las disoluciones de pintura vegetal azul en agua con luz obturada a baja y alta frecuencia.....	255
Tabla 55. Mediciones de la pintura vegetal diluido en agua con diferentes longitudes de onda.....	257
Tabla 56. Concentraciones obtenidas del vino tinto tipo Jerez en agua después de 10 días	258
Tabla 57. Medidas de las disoluciones de vino tinto tipo Jerez en agua con luz obturada a baja y alta frecuencia.....	259
Tabla 58. Mediciones del vino tinto tipo Jerez diluido en agua con diferentes longitudes de onda.	261
Tabla 59. Gastos en Materiales del Proyecto.	270
Tabla 60. Distribución de Pines en la Tarjeta de Desarrollo ChipKIT uC32.....	278
Tabla 61. Clasificación de las ondas de radiofrecuencia [148].....	313

Resumen

El agua es un recurso natural de vital importancia para la flora y la fauna del planeta. Sin embargo, en la actualidad debido fundamentalmente a causas antropogénicas, el agua disponible para consumo humano se encuentra contaminada en varias regiones. A pesar de que existe la tecnología para determinar la contaminación, ésta no se mide de forma extensiva en varios lugares por el costo que representa. El desarrollo de sistemas de bajo costo que permitan la identificación de contaminantes en agua es un tópico de investigación que ha cobrado auge. En el presente trabajo terminal, se propone un sistema que tiene fines de investigación que se basa en la nefelometría para determinar cambios en el coeficiente de absorción de la radiación, en las regiones del espectro electromagnético UVA, UVB, UVC, VIS e IR. Dado la dificultad de modular eléctricamente las fuentes de radiación, se propone el desarrollo de una *chopper* óptico, que requiere de un motor con control de velocidad. Además, de que también se contempla la cuantificación de la velocidad del sonido de ondas de alta frecuencia debido a la concentración de partículas en muestras de agua.

La nefelometría se ha empleado con éxito para determinar la turbidez en longitudes de onda del infrarrojo próximas a 980 nm. En el caso del UV se han reportado cambios en la absorción por metales en el agua y de materia orgánica, sin embargo, es un campo muy poco explorado. La expectativa a futuro del sistema propuesto es que forme una parte significativa del monitoreo de los cuerpos de agua con el fin de identificar su calidad a un bajo costo.

Palabras clave

Nefelometría, Turbidimetría, Nefelometría Acústica, Ultrasónico, Chopper, UVC, UVB, UVA, VIS, Infrarrojo, IR, Análisis de Agua, Estudio Acústico, Absorción, Concentración, Turbidez, Cavidades, Espectro electromagnético, Multiespectral, Transmitancia.

Abstract

Water is a vital natural resource for the flora and fauna of the planet. However, currently due mainly to anthropogenic causes; the water available for human consumption is contaminated in several regions. Although the technology exists to determine contamination, this is not measured extensively in various places by the cost it represents. The development of low-cost systems that modify the identification of contaminants in water is a topic of research that has gained popularity. In the present terminal work, it proposes a system that has research fines based on nephelometry to determine changes in the radiation absorption coefficient, in the regions of the UVA, UVB, UVC, VIS and IR. Given the difficulty of electrically modulating radiation sources, the development of an optical chopper is proposed, which requires a motor with speed control. In addition, the quantification of the speed of sound of high frequency waves due to the concentration of particles in water samples is also contemplated.

Nephelometry has been successfully used to determine turbidity at infrared wavelengths close to 980 nm. In the case of UV, changes in the absorption by metals in water and organic matter have been reported, however, it is a very little explored field. The future expectation of the proposed system is that it forms a significant part of the monitoring of water bodies in order to identify their quality at a low cost.

Key Words

Nephelometry, Turbidimetry, Acoustic Nephelometry, Chopper, UVC, UVB, UVA, VIS, Infrared, IR, Water Analysis, Acoustic Study, Absorption, Concentration, Turbidity, Cavities, Electromagnetic Spectrum, Multispectral, Transmittance.

Introducción

La calidad del agua es un factor muy importante para cualquier uso, la presencia de sólidos en suspensión, microorganismos, materia orgánica, iones y otras diminutas partículas pueden afectar o beneficiar al uso que se le dará a dicha solución. Por ejemplo, si se encuentra sólidos en suspensión en agua potable, esto puede soportar un crecimiento dañoso de microorganismos y reduce la efectividad del proceso de cloración, dando como resultado riesgo a la salud. En general en la mayoría de los cuerpos de agua, los altos niveles de materia suspendida inmersas en ellas son inaceptables por razones de interferencia con pruebas biológicas y químicas. Por lo cual, el presente proyecto se enfoca en mostrar una alternativa para el análisis de muestras de agua.

Básicamente el funcionamiento del sistema nefelométrico multi-espectral consiste en detectar sólidos suspendidos (muestra turbia) que provoquen una obstrucción en el tránsito de la luz a través de una muestra de agua mostrando resultados de concentración y absorción, en donde algunos medios absorben más luz que otros a pesar de que la fuente se encuentre a la misma intensidad. Con esto se busca evidenciar que utilizando fuentes de luz a diferentes longitudes de onda se pueden encontrar diversos contaminantes por la cantidad de absorción obtenida. La baja o nula turbidez en el agua es importante sobre todo para los productos destinados para el consumo humano o en algunas operaciones de fábrica.

En el sistema acústico se propone la emisión de una onda acústica por medio de un transductor a la muestra de agua, la frecuencia de excitación es de 1.4MHz, la onda que genera el traductor se transmite en el agua y refleja en una pared del contenedor de la muestra, dependiendo de la concentración de una sustancia disuelta en el agua, se detecta un cambio de fase en la onda emitida con respecto a la onda reflejada. En este sistema se espera calcular las diferentes velocidades de las ondas que emita el transductor en diferentes concentraciones de una molécula o sustancia modelo, para así poder crear una curva de calibración de ese material y realizar medidas posteriores.

Para el escenario de pruebas, se modificarán algunas muestras de agua. La exactitud del instrumento se obtendrá de forma estadística y se realizará una curva de calibración para cada longitud de onda. En caso de que se cuente con un instrumento comercial se contrastaran los resultados para mayor exactitud. En dichos instrumentos, los tiempos de muestreo que se consideran son de 1 a 30 minutos, por lo cual estos tiempos son los que el sistema nefelométrico multi-espectral considerará.

Capítulo 1: Descripción del Trabajo

1.1 Planteamiento del problema

La nefelometría es una técnica que para su funcionamiento utiliza diferentes fuentes de luz a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético para obtener diferentes respuestas de absorción de las muestras que se analizan. Sin embargo, no todas las fuentes se pueden modular eléctricamente ya que en algunas se tiene que modular de manera externa mediante el uso de un chopper, que provoca una luz pulsada. La modulación en frecuencia de la fuente de luz es necesaria debido a que la nefelometría consiste básicamente en la medición de la radiación causada por partículas en disolución o suspensión, midiendo la potencia de la radiación dispersada en un ángulo distinto al de la dirección de la radiación incidente. [1]

Cuando una partícula se encuentra en suspensión dentro de un medio y es alcanzada por un haz de luz, existe una porción de luz que se refleja, otra que es absorbida, y otra transmitida. Por este motivo cuando existe una suspensión de partículas sólidas, la suspensión se observa turbia. [1]

Para un análisis más conciso del haz de luz de las múltiples fuentes es necesario considerar la Ley de Lambert y Beer, la cual afirma que la totalidad de luz que emana de una muestra puede disminuir debido a tres fenómenos de la física que a continuación se enlistan [2]:

- La concentración que posee una solución en suspensión. [2]
- La distancia que la luz debe atravesar a través de las muestras conocido también como distancia del trayecto óptico. [2]
- El índice de absorción de la solución. [2]

Realizar una máquina multi-espectral consiste en obtener las señales de cada una de las fuentes de luz del espectro electromagnético, mediante un convertidor de señales analógico-digital, filtros y acondicionadores de señal, para después analizarlos por medio de un procesamiento de datos en unidades cm^{-1} para absorción y NTU para turbidez, mostrando al usuario cual es aproximadamente el nivel de concentración en su muestra, definiéndolo en alta, media o baja. La obtención de estas respuestas se realizará por medio de experimentos,

estando la máquina en funcionamiento y tomando varias medidas de las muestras de agua, para poder definir la concentración (contaminación) de manera cualitativa.

Se conoce que el infrarrojo está definido para la turbidez, pero no para las otras longitudes de onda, por este motivo utilizando la técnica nefelometría se busca medir la luz dispersada de las distintas fuentes de luz, para conocer el nivel de contaminantes o partículas que tiene el agua.

El uso de choppers con control de velocidad, hará que se genere una luz pulsada de algunas fuentes que no pueden ser moduladas por medios electrónicos, para así obtener las respuestas temporales de la interacción de la luz con la materia.

En el sistema acústico se propone inspeccionar una molécula modelo, como la de un contaminante iónico, de tal manera que se encuentre en el espectro ultrasónico viable para que no sufra cambios internos por efectos de la cavitación o degradación de las moléculas.

Uno de los principales retos de este proyecto es desarrollarlo con elementos relativamente económicos, ya que se sabe que estos instrumentos comerciales son muy costosos.

1.2 Justificación

Las técnicas tradicionales para determinar de forma cuantitativa las propiedades fisicoquímicas y contaminantes en agua, suelen ser costosas debido a que se requieren estudios de laboratorio, lo cuales se ubican, en general, en puntos que están distantes del cuerpo de agua que se quiere caracterizar. Por otro lado, se requiere de instalaciones especiales y de personal calificado para llevar a cabo dichos análisis. [3]

Desafortunadamente, se ha reportado que en México varios cuerpos de agua presentan un cierto grado de contaminación que puede poner en riesgo a la población. Si se crearan sistemas compactos de bajo costo que indiquen, aunque sea de forma cualitativa, la presencia de contaminantes o alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del agua, se podría hacer un diagnóstico en tiempo real del estado de los cuerpos de agua del país, que podría ayudar

a que se instrumenten políticas de estado para mitigar hasta cierta extensión esta situación. [4]

El sistema nefelométrico existe en laboratorios muy especializados e industrias que suelen utilizarlo para medir el número de partículas de una cierta sustancia que se encuentre en sus líquidos. [5] La idea de realizar el presente proyecto surge de la necesidad de analizar el agua, pudiendo estimar de forma cualitativa el nivel de algunos contaminantes que ésta pueda llegar a contener.

La importancia de este proyecto radica en la innovación en la forma del análisis del agua, ya que se utiliza una técnica poco convencional que tiene documentación reciente. Aquí el análisis del agua se realiza sin tener contacto con él, solo con el estudio de las señales obtenidas de las diferentes fuentes de luz, a esta técnica se le llama Nefelometría, pero también se incluye los sistemas que detectan absorción, turbidez, concentración y el espectro acústico.

Finalmente, el trabajo terminar busca ofrecer un dispositivo que detecta turbidez y absorción con concentraciones aproximadas, y así conocer si hay necesidad de llevar la muestra de agua a un análisis más completo, este es un dispositivo con fines de investigación y se espera que en un futuro se pueda diagnosticar de forma rápida la presencia de contaminantes.

Para tratar la problemática se plantea diseñar y construir un sistema nefelométrico acondicionado con detectores para obtener diferentes espectros (scattering o esparcimiento) de acuerdo a diferentes sustancias que se encuentran diluidas en el agua. Así mismo también se propone diseñar y construir un sistema acústico para analizar las diferentes respuestas en frecuencia de las diferentes partículas suspendidas en agua.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un sistema de nefelometría multi-espectral y de audio con el uso de detectores y transductores para identificar variaciones en las respuestas de las propiedades ópticas y acústicas del agua, debido a la presencia de contaminantes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Construir una estructura para el sistema de nefelometría óptica y de audio para montar los elementos que la constituyen.
- Diseñar un sistema nefelométrico para medición de luz esparcida en el espectro UVA.
- Diseñar un sistema nefelométrico para medición de luz esparcida en el espectro UVB.
- Diseñar un sistema nefelométrico para medición de luz esparcida en el espectro UVC.
- Diseñar un sistema nefelométrico para medición de luz esparcida en el espectro VIS.
- Desarrollar un sistema nefelométrico para medición de luz esparcida en el espectro infrarrojo.
- Desarrollar un sistema de acústico para analizar en amplitud muestras de agua.
- Diseñar un chopper óptico para modular la luz de fuentes continuas utilizando efectores y control de motores.
- Construcción de un sistema hidráulico para el suministro de las muestras de agua.
- Analizar los resultados obtenidos de las pruebas en el espectro de Fourier.
- Crear una interfaz hombre-máquina para el control del dispositivo, que permita la adquisición de datos e interpretación de los datos.
- Diseño de programas de cómputo embebidos para el control del sistema.
- Comparar resultados obtenidos del sistema nefelométrico óptico, con resultados de laboratorio utilizando instrumentación especializada.
- Desarrollo de los circuitos electrónicos de acondicionamiento de la señal, filtros, antialiasing y amplificadores de señal.

1.4 Estado del arte

Se define a la nefelometría como la medición de la luz dispersada de una muestra que contiene partículas suspendidas en una solución. [6] El desarrollo de nuevos métodos analíticos para determinar la calidad del agua ha dependido de la aparición de nuevas tecnologías y de su introducción en el laboratorio clínico.

A continuación, se presenta una cronología sobre el desarrollo de la nefelometría, técnicas y sistemas que han permitido al ser humano realizar pruebas en diversas muestras para verificar la calidad del agua:

- En 1895, se publica el primer artículo relacionado con el nefelómetro, escrito por Theodore William Richards, en el cual se explica cuál es su configuración, cómo se usa y se realiza un breve comentario sobre su etimología. [7]
- En 1904 se publica un artículo técnico para aclarar el uso del nefelómetro, en American Chemical Journal. [7]
- En los años 1950 se desarrolla la técnica de medida de luz dispersa, mejor conocida como Nefelometría. [8]
- Entre 1967 y 1969 surgen los primeros nefelómetros por R. F. Ritchie disponibles en un laboratorio clínico. [9]
- En 1974 se desarrolló el primer nefelómetro con un sistema óptico de rayo láser. [9]
- En los últimos 15 años el laboratorio clínico ha remplazado el método de inmudifusión radial por los métodos nefelométricos. [9]

Por otro lado, también se pueden encontrar diferentes desarrollos en el área acústica, correspondientes a la identificación de objetos con ayuda de diferentes regiones del espectro electromagnético, un ejemplo de estos es identificación por radiofrecuencia (RFID). Aunque es complicado establecer un punto de partida claro, dado a que su historia aparece entrelazada con la del desarrollo de otras tecnologías a lo largo del siglo XX.

De la misma manera que para la nefelometría, se presenta una cronología sobre el desarrollo de estudios, técnicas y sistemas utilizados para la identificación de objetos, materiales o contaminantes mediante la transmisión de ondas acústicas:

- En 1860, James Clerk Maxwell (físico escocés), predijo la existencia de ondas radio y postuló su uso. [10]
- En 1886, el científico alemán Heinrich Rudolf Hertz probó que rápidas variaciones de corriente eléctrica podían ser proyectadas en el espacio en forma de ondas de radio, similar a las ondas de luz y que éstas eran medibles y repetibles. [10]
- Durante la Segunda Guerra Mundial, los británicos desarrollaron el primer sistema etiquetado de RFID, tecnología IFF (“Friend or Foe – Amigo o Enemigo”). El objetivo era discriminar rápidamente entre su propia flota de aviones y los escuadrones alemanes. [10]
- En octubre de 1948, Harry Stockman publicó un artículo en los Proceedings of the IRE titulado “Communications by Means of Reflected Power - Comunicaciones por medio del poder reflejado”, que se puede considerar como la investigación más cercana al nacimiento de la RFID. [11]
- Durante la década de los 50 se publicaron dos artículos importantes: “Applications of Microwave Homodyne - Aplicaciones de Microondas Homodyne”, de F. L. Vernon, y “Radio Transmission Systems with Modulatable Passive Responders - Sistemas de transmisión de radio con respondedores pasivos modulables”, de D. B. Harris. [11]
- En los años 60 se profundizó en el desarrollo de la teoría electromagnética y empezaron a aparecer las primeras pruebas de campo, como por ejemplo, la activación remota de dispositivos con batería, la comunicación por radar o los sistemas de identificación interrogación-respuesta. [11]
- En los últimos 10 años, el mundo se encuentra en un periodo de elevada información y noticias entorno a RFID. Los intereses por esta tecnología siguen creciendo y su uso se extiende en diversos sectores. [10]

1.5 Marco teórico

1.5.1 Antecedentes

En esta sección se habla sobre trabajos desarrollados en los últimos años que guardan relación con el sistema nefelométrico y acústico planteados en este trabajo terminal. Analizando las ventajas y desventajas observadas, así como el aporte que estos pueden presentar.

1.5.1.1 Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir turbidez

Institución: Universidad De San Buenaventura

Autores: Sergio Andrés Rojas Figueroa, Yurany Sastoque Quintero

Bogotá, 2007

El presente proyecto describe el proceso de diseño de un prototipo de instrumento nefelométrico para medir turbidez, con el propósito de tener una estimación de la concentración de partículas suspendidas en un fluido y con intereses particulares hacia la empresa “B&C Biosciences”. La idea principal se basa en diseñar un instrumento de campo con materiales accesibles que pudiera ser adaptado a una tubería donde se desee realizar alguna medición. Por lo tanto, el objetivo general consiste en efectuar una medición de la turbidez de agua en tiempo real.

Los objetivos específicos de este proyecto tienen relación con la implementación de un sistema nefelométrico, contemplando diferentes configuraciones geométricas emisor-receptor y un algoritmo para llevar a cabo las mediciones de la turbidez desde la transducción hasta la visualización de resultados.

Las ventajas que se pueden tomar de este proyecto es la caracterización que se le da a las señales obtenidas, así como a su debida instrumentación virtual con la ayuda de Labview®. Además, presenta varios aspectos físicos, como es el caso de los materiales implementados, que se deben considerar en la fabricación del sistema para evitar la contaminación de las muestras de agua, lo cual puede servir de guía para TT1. [12]

1.5.1.2 Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida

Centro Nacional de Investigaciones Científicas

Autores: Dayana Acebo González, Armando Hernández García

Revista CENIC. Ciencias Biológicas

Ciudad de La Habana, Cuba, 2013

El presente artículo hace hincapié respecto al uso de diversas técnicas turbidimétricas como herramientas analíticas muy útiles que satisfacen la necesidad que tiene la industria biotecnológica para estimar el crecimiento celular en el transcurso de bioprocesos. Se enfoca en explicar la diferencia entre las diferentes técnicas para la medición de turbidez (turbidimetría o nefelometría), así como los pasos para realizar el diseño general de un sistema de este tipo.

El artículo presenta una investigación muy completa y sintetizada acerca de cómo los métodos turbidimétricos constituyen una alternativa en la obtención de información y el control de los sistemas biotecnológicos. Destaca que las técnicas ópticas tradicionales de medición han experimentado un renacimiento debido al fuerte desarrollo de las fuentes y los detectores de luz, así como de nuevos elementos de tipo óptico. En general, son técnicas rápidas, sin contacto y no destructivas para el medio ambiente. Estos ofrecen la posibilidad de un seguimiento continuo del proceso sin perturbación alguna y cercano al valor real. [13]

1.5.1.3 Desarrollo de un instrumento para medir la concentración de partículas suspendidas en un medio gaseoso (Nefelómetro) en base de láser diodo

Institución: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (IPN)

Autor: Javier Zenteno García

México, 2015

Esta tesis presenta un método para la medición de una baja concentración de partículas de aerosoles atmosféricos con ayuda de un nefelómetro. Se explica la implementación del instrumento para recoger la luz dispersada de un láser diodo a través de un aerosol utilizando una celda óptica multipasos y un dispositivo de carga acoplada (CCD).

Las ventajas para tomar en cuenta esta tesis son la simplicidad del diseño y la capacidad para medir múltiples muestras (diferentes tipos de aerosol), lo cual hace que este instrumento tenga mejores prestaciones. Uno de los puntos más importantes es que es un diseño que puede ser adaptado a otros instrumentos para medir partículas antropogénicas y de origen natural. [14]

1.5.1.4 Un sistema de retrodispersión acústica para perfilar la concentración *in situ* de las dispersiones floculadas de sedimentación

Institución: Universidad de Leeds

Autores: Timothy N. Hunter, Jeff Peakball, Simon Biggs

Reino Unido, 2012

La presente investigación describe la implementación de un sistema comercial de retrodispersión acústica, que es adecuado para una amplia gama de sistemas de dispersión y sedimentación de lodos. Específicamente, el sistema utiliza transductores-receptores de 2, 4 y 5 MHz que emiten pulsos ultrasónicos de alta frecuencia y reciben las señales de eco retrodispersión, siendo la fuerza del retorno directamente proporcional a la concentración de partículas. La idea principal consiste en observar la respuesta de retrodispersión de una sedimentación del 5% en peso en diferentes materiales.

Las ventajas que se pueden tomar de este estudio son los métodos utilizados para obtener la concentración de partículas medidas con el sistema, en donde se comparó la diferencia en la pendiente lineal del material con la de la atenuación acústica. Además, presenta una alternativa de lo que es el uso de sensores ultrasónicos, en los cuales se necesitan considerar diversos factores para las diversas pruebas realizadas y que pueden ayudar a mejorar la precisión del sistema acústico en TT1. [15]

1.5.1.5 Posibilidad de utilizar técnicas acústicas para la evaluación del procesamiento de la masa

Autores: Elfawakhry H., Hussein M.A., Becker T.

Revista SciVerse SciendeDirect

Weihenstephaner, Alemania, 2011

El presente artículo hace hincapié respecto a la implementación de técnicas ultrasónicas para el desarrollo y la optimización de procesos alimentarios industriales con el uso de una técnica moderna de medición rápida y no destructiva para proporcionar información sobre las propiedades fundamentales y empíricas útiles de los productos. Se enfoca en explicar la posibilidad de calcular la densidad sólida/no sólida de la masa, fracción vacía y módulos complejos en la masa, con base a una red neuronal de dos capas que combina la impedancia acústica y la energía de señales ultrasónicas que pasan a través de muestras de masa.

El artículo ofrece una investigación muy completa y sintetizada acerca de cómo las mediciones de velocidad ultrasónica y la atenuación se relacionan linealmente con el contenido de agua de las muestras de masa analizadas. En donde, se construyeron varios modelos numéricos para probar y validar el sistema de medición de velocidad ultrasónica. [16]

1.5.1.6 Instrumento y método de medición de concentración de partículas acústicas

Inventores: Robert L. Johnson, Kenneth R. Overoye, Pravin G. Bhuta

California, 1971

Esta patente proporciona un método e instrumento acústico para examinar acústicamente en un medio de transmisión líquido o sólido para detectar la presencia o medir la concentración de partículas líquidas o sólidas a partir de la impedancia acústica del medio dado el diámetro medio de una partícula.

Este instrumento acústico ofrece una gran cantidad de aportes al presente protocolo, ya que explica los principales componentes de un sistema de este tipo, así como diversos aspectos a considerar para la transmisión de energía de onda acústica desde la fuente, el momento en

que atraviesa el medio, hasta terminar en el receptor. Hay que resaltar que para que los resultados a analizar sean eficaces, el receptor necesita considerar una tensión de referencia y una instrumentación para comparar la tensión que se recibe, para así obtener una tensión resultante que representa la diferencia entre la tensión de salida y la de referencia. [17]

1.5.1.7 Nefelómetro C-102

Empresa: PCE

Esta máquina, disponible actualmente en el mercado está enfocada para la medición habitual del agua en el trabajo y reducir al mínimo los gastos de laboratorio.

Este instrumento posee varias funciones de análisis además de la medición de la turbiedad, con el cual se puede realizar un análisis de agua casi completo: cloro libre y total, bromo, pH, hierro, yodo y ácido cianúrico. En el rango de medición de turbiedad se puede poner un punto de calibración libre entre 0,0 y 50,0 NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Entre sus características principales se encuentran:

- Fácil manejo del instrumento.
- Implementación de una pantalla LCD para observar los resultados.
- Reloj de tiempo real.
- Alta precisión
- Memoria para realizas 25 pruebas diferentes (con fecha y hora). [18]



Figura 1. Nefelómetro C-102. [18]

1.5.1.8 TestDrop

Empresa: Lishtot

Esta herramienta está enfocada para realizar un análisis de la calidad del agua en tiempo real, con el cual se pueden detectar más de 20 contaminantes en dos segundos sin necesidad de hacer contacto con el agua.

Es un instrumento que se maneja a través del Bluetooth de los dispositivos móviles con la aplicación Lishtot que permite detectar en tan solo dos segundos contaminantes en el agua como: plomo, arsénico, mercurio, cobre y cloro e incluso descubrir si alguien ha escupido en el líquido. El proceso para realizar una medición es relativamente sencillo, se debe apuntar con el dispositivo hacia un vaso de plástico lleno de agua y si el sistema se ilumina en azul, el agua está en estado para beber, pero si la luz es roja “es mejor evitarla”. [19]



Figura 2. Dispositivo TestDrop. [19]

1.5.1.9 Branson 1510 Ultrasonic Cleaner

Empresa: NIST

El Branson 1510 es un pequeño limpiador ultrasónico de sobremesa confiable, ideal para pequeños laboratorios e instrumentos médicos. Incluye con controles de microprocesador incorporados que se utilizan para la temperatura y el temporizador. Este limpiador ultrasónico tiene una capacidad de tanque de 0.5 galones y opera a una frecuencia de 40 KHz. El Branson 1510 funciona bien para limpiar pequeñas piezas mecánicas, herramientas dentales y herramientas médicas junto con varios aparatos de laboratorio. [20] El limpiador ocupa un espacio mínimo de laboratorio. Entre sus principales características se encuentran:

- Capacidad del tanque: 1.89 L (0.5 gal).
- Tamaño del tanque (L x W x D): 29.2 cm x 15.2 cm x 15.2 cm (11.5 "x 6" x 6 ").
- Precisión de temperatura: ± 4 °C.
- Rango de temperatura: ambiente a 69 °C. [20]



Figura 3. Branson 1510 Ultrasonic Cleaner. [20]

1.5.2 Marco conceptual

En este apartado se abordarán aquellos conceptos base para el prototipo a desarrollar.

1.5.2.1 Técnicas de análisis óptico

La nefelometría y la turbidimetría se basan en la dispersión y transmisión de la radiación lumínica que atraviesa un medio transparente en el que existe una suspensión de partículas de materia sólidas, para luego la luz se disperse en todas direcciones y como consecuencia la sustancia en estudio se observe turbia. Al aplicar estas técnicas en una prueba se conoce que parte de la luz es reflejada o dispersada, parte absorbida y el resto es transmitida, con un detector se puede medir estas diferentes radiaciones de luz.

La dispersión no significa la pérdida neta de potencia radiante ya que solo afecta la dirección de la propagación de la luz, porque la intensidad de la radiación se dispersa en todas direcciones. Una disolución turbia no significa que es una solución contaminada, sino que es una disolución con partículas suspendidas. Conocer el espectro de absorción de la muestra que se quiere determinar es importante debido a que ciertas longitudes de onda causarán la máxima absorción en la especie de estudio así se puede obtener la mayor sensibilidad en su cuantificación.

Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias. Cuando la radiación lumínica es absorbida por una molécula se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental, a un estado de mayor energía (estado excitado). Y solo la molécula absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados o bandas que la distingue del resto de las moléculas, como consecuencia cada molécula tiene un espectro de absorción a distintas longitudes de onda. Por último, la molécula en forma excitada libera la energía absorbida hasta el estado energético fundamental. [21]

La intensidad de la radiación transmitida y dispersa depende de [22]:

- El número de partículas suspendidas que se encuentren en la sustancia líquida.
- El tamaño de las partículas suspendidas.
- La forma de las partículas suspendidas.
- Los índices refractivos de la partícula.
- El medio dispersante.
- La longitud de onda de la radiación dispersada.

Las consideraciones físicas en una medición Nefelométrica y Turbidimétrica se enlistan a continuación:

- Reflexión de las paredes de la superficie del recipiente que tendrá la muestra.
- Absorción por parte de las moléculas de la sustancia.
- Dispersión por parte de las moléculas de la sustancia.
- Si el tamaño de las partículas es mayor a la longitud de onda, entonces la luz no se separa o se dispersa.
- Si el tamaño de la partícula es mayor o igual a la longitud de onda, la luz se dispersa
- Para una buena dispersión la medida de la partícula debe de ser mínimo un medio de la longitud de onda.
- Concentración de los reactivos, entre mayor número de partículas se encuentren en la solución, mayor será la dispersión.
- La muestra debe de presentarse en estado de reposo sin que la muestra este encuentre turbulenta.
- Las consideraciones de temperatura, pH, fuerza iónica y longitud de onda pueden varias las mediciones.

También las mediciones pueden tener un porcentaje de error y esto se debe a [22]:

- Cubetas contaminadas, cualquier agente externo a la solución, que se puedan encontrar dentro o fuera del contenedor.
- Interferencia, esto hace referencia a la presencia de contaminantes microbiano o turbidez dispersa.
- Compuestos fluorescentes, son los compuestos que al ser excitados por la radiación provocan lecturas erróneas y elevadas de la densidad de dispersión.
- Conservación de los reactivos, la temperatura inadecuada del sistema podría causar condiciones adversas al estudio e incitaría la presencia de reactivos turbios o con precipitados.
- Fluctuaciones en la potencia eléctrica, en este caso para evitar estas variaciones de tensión o corriente en la fuente de luz se recomienda la implementación de estabilizadores de tensión para que la fuente pueda emitir una radiación uniforme.

1.5.2.2 Instrumentos para análisis nefelométrico y turbidimétrico

Para realizar un análisis de turbidimetría y nefelometría se necesita un equipo llamado espectrofotómetro para el caso de la turbidimetría y nefelómetro para el caso de nefelometría, ambos sistemas son similares en la constitución de los elementos que la hacen funcionar, la diferencia entre una técnica y la otra es la posición del detector, a continuación, se mencionan los principales elementos por los que está constituido ambos dispositivos [22]:

- Lámparas o diodos led emisores de luz de distintas longitudes de onda, hechas de Wolframio, Deuterio, Tungsteno, Xenón o Arco de mercurio.
- Sistema monocromático selecciona la longitud de onda a utilizar y dentro de este sistema se puede tener elementos como colimadores, prismas, lentes y filtros de red de difracción.
- Suspensión a analizar, que se encuentra en un contenedor de vidrio, plástico o cuarzo y permite realizar las medidas de las energías incidentes, dispersadas y transmitidas. Para el análisis en el espectro UV se debe de utilizar celdas de cuarzo o sílice fundido porque el vidrio y el plástico no transmiten la radiación UV. En algunas ocasiones con suspensiones de colores se utiliza filtros para evitar que el color influya sobre el resultado de la luz transmitida.
- Detector, usualmente algún elemento fotoeléctrico (fotodiodo, fototransistor o fotorresistencia), sensible a la longitud de onda transmitida, convirtiendo la radiación transmitida en energía eléctrica que puede ser leído por un sistema de registro como un microcontrolador. Para el caso del análisis nefelométrico es requerido que el detector se coloque a un ángulo de 90 grados medido desde la luz incidente y para el caso del análisis turbidimétrico se requiere que el detector se coloque a 0 grados desde la luz incidente.
- Sistemas de lectura e interpretación de señal, estos son sistema que la función principal es procesar y mostrar los resultados de una manera entendible para el usuario, los elementos que suelen utilizar son pantallas digitales y microprocesadores de señal. Para el caso de turbidimetría se suele mostrar el porcentaje de transmitancia o absorbancia con la concentración y para el caso de nefelometría se muestra solo la concentración. [21]

Ambos métodos son técnicas complementarias para análisis cuantitativo de soluciones.

Para implementar el funcionamiento de espectrofotómetro y del nefelómetro, se tienen que seguir los pasos que a continuación se mencionan [23] [24] [25]:

- 1) Limpiar con un paño la cubeta de cuarzo o vidrio perfectamente, no tocar las superficies de las cubetas con las manos, es necesario el uso de guantes de látex para poder manipularlo.
- 2) Dentro de un recipiente cristalino o frasco de vidrio o cuarzo se coloca la muestra de estudio con pipeta, jeringa o tubo de ensayo.
- 3) Ingresar la cubeta alineando con la marca del equipo y cerrar la puerta para crear un ambiente oscuro dentro de la máquina.
- 4) Seleccionar la longitud de onda que incidirá sobre la muestra.
- 5) El foto detector se comporta como receptor de los fotones, dicho elemento electrónicamente se encuentra antes de un bloque de acondicionamiento que permite

amplificar y filtrar las señales emitidas en forma de impulsos eléctricos, estas señales pueden ser inducidas en una unidad de procesamiento y control encargada de la conversión analógica – digital de la señal de entrada y de cumplir con las tareas de procesamiento digital como la cuantificación y el proceso matemático con el objetivo de presentar los resultados requeridos en una interfaz gráfica, así mismo este mismo software es capaz de determinar las características de la fuente de emisión de luz seleccionada.

- 6) Observar los resultados de absorción y concentración que envía el microprocesador al software de usuario.
- 7) A partir de los resultados anteriores se pueden generar curvas de calibración para diferentes sustancias.

1.5.2.3 Aplicaciones y diferencias de la nefelometría y turbidimetría

Las aplicaciones típicas de los sistemas nefelométricos y turbidimétricos, se citan a continuación [25] [22]:

- Análisis de la calidad química del agua.
- Determinar la claridad y control de procesos de tratamiento de agua.
- Determinación de iones en una muestra.
- Detección de moléculas orgánicas.
- Análisis microbiológico.
- Análisis de aguas residuales.
- Bioanálisis para la cuantificación de proteínas plasmáticas (Lipasas).
- En el área clínica para medición de IG en la sangre.
- Bioanálisis para la cuantificación de proteínas orina y anticuerpos en suero.
- Claridad y calidad de productos alimenticios y bebidas.
- Medir la sensibilidad de los antibióticos.
- Análisis de proteínas en la determinación del glucógeno, globulina en suero y plasma sanguíneo.
- Análisis de presencia en líquidos biológicos de parámetros de combustión del tabaco.
- Análisis de fibrinógeno, triglicéridos, complejos Ag –Ac y otras sustancias.
- Medir concentraciones específicas en colonias de bacterianas en algún medio de cultivo.
- Registro y control de procesos fermentativos.
- Evitar la contaminación del aire.
- Vigilancia del clima y la visibilidad.

Se tiene que tener claro que existen dos técnicas que son complementarias, pero son diferentes llamadas Nefelometría y Turbidimetría. La Turbidimetría se encarga de medir la luz transmitida que sale de la muestra a un ángulo de cero grados y calcular la transmitancia para posteriormente mostrar la absorbancia del material. La Nefelometría mide la luz dispersada en un ángulo de 90 grados y calcula la turbidez en NTU. En la Figura 4, podemos ver las principales diferencias espaciales de ambas técnicas.

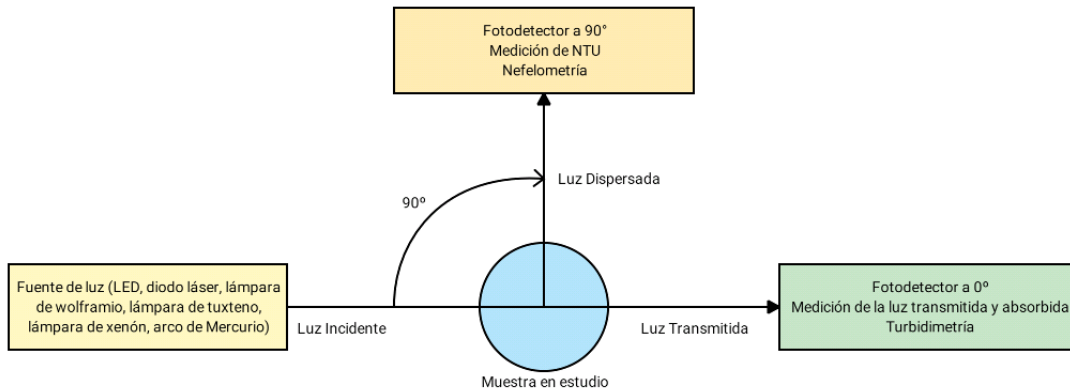


Figura 4. Técnica de Nefelometría y Turbidimetría.

Para aplicar estas técnicas antes mencionadas en el diseño conceptual, se puede observar un boceto en 3D, se cómo se puede diseñar este proceso, como se muestra en Figura 5, el inciso (a) muestra una fuente de luz, el inciso (b) representa la muestra que se desea medir, el inciso (c) indica donde se encontrar el proceso de medición Nefelométrica a 90° y el inciso (d) señala donde estará el proceso de medición Turbidimétrica a 0°.

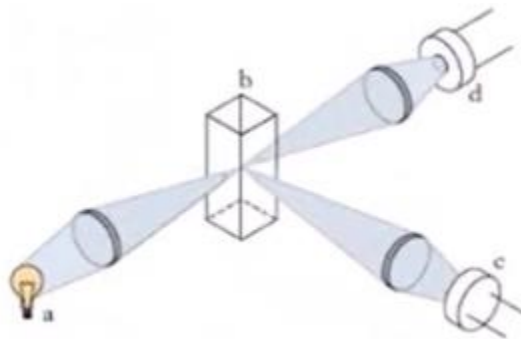


Figura 5. Boceto en 3D del diseño de medición Nefelométrica y Turbidimétrica. [26]

1.5.2.4 Análisis turbidimétrico

La turbidimetría es la detección de energía lumínica transmitida hacia un detector que se encuentra en el camino directo del haz luminoso. La turbidimetría mide la radiación transmitida no dispersada con un detector colocado a 0 grados a partir de la dirección de la luz incidente en la muestra.

Esta técnica es muy utilizada para estudiar soluciones muy turbias en otras palabras, soluciones con altas concentraciones de partículas dispersantes para que haya una buena disminución de la luz transmitida, muestras no muy diluidas y partículas de más de 10 μ m. Para poder medir concentraciones y absorciones este método tiene en cuenta la ley de Lambert y Beer.

Con este método se puede determinar la concentración de una variedad de iones de disolución como *Ag, Ca, Na, Cl, SO₄* o bien la determinación de proteínas en diferentes sustancias o fluidos biológicos. Para obtener una buena caracterización de cada elemento se tiene que tener patrones o curvas de calibración previamente preparadas.

El principio en el cual se basará el sistema de nefelometría multi-espectral, en la sección Turbidimétrica es aplicando la Ley de Lambert y Beer para fluidos, como lo muestra la Ecuación (1):

$$T = \frac{I_1}{I_0} = 10^{-A} = 10^{-\epsilon lc} = 10^{-(\alpha a + \alpha b)lc} \quad (1)$$

Donde: T = Transmitancia
 I_1, I_0 = Intensidad de luz transmitida y entrante
 A = Absorbancia
 l = Longitud atravesada por la luz en el medio
 c = Concentración del absorbente en el medio (Concentración molar)
 ϵ = Coeficiente de absorción

- $\propto a$ = Coeficiente de absorción molar
- $\propto b$ = Coeficiente de dispersión

A medida que la luz atraviesa un medio que la absorbe, la cantidad de luz absorbida en cualquier volumen corresponde a la intensidad de luz que incide, luego se multiplica por el coeficiente de absorción. La intensidad de un haz incidente declina significativamente a medida que pasa a través del medio absorbente. El coeficiente de absorción, para una longitud

de onda dada, es una cantidad característica de cada sustancia y depende de la longitud de onda y del índice de refracción.

Como se observa en la Ecuación (1), la transmitancia se puede expresar como la intensidad de radiación incidente entre la intensidad de luz transmitida. Un ejemplo de la relación de la Ecuación (1), se observa en la Figura 6 donde un haz de luz atraviesa un recipiente de tamaño l . [27]

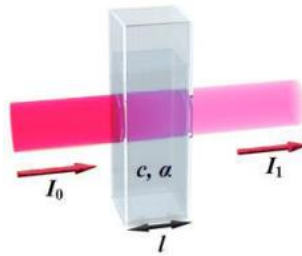


Figura 6. Ejemplo de luz incidente y luz transmitida. [27]

La unidad de medida del coeficiente de absorción es cm^{-1} y para la concentración se presenta en fracción molar. Para el desarrollo de la fracción molar se tiene que su fórmula es:

$$x_i = \frac{n_i}{n_t} < 1 \quad (2)$$

Donde: x_i = Fracción molar
 n_i = Moles de soluto
 n_t = Moles de disolución

Esta medida también se puede presentar como porcentaje molar multiplicando el valor obtenido de x_i por 100. Además, que se sabe que la suma de las fracciones molares de todos los componentes de una mezcla es la unidad. [28] [29]

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$$

La ley de Lambert y Beer tiene una variante, la Ecuación (3) se aplica específicamente para análisis en gases que se estudian por la misma técnica de turbidimetría:

$$T = \frac{I_1}{I_0} = e^{-A} = e^{-\alpha l} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{4\pi k_{\lambda}}{\lambda^2}$$

Donde: λ = Es la longitud de onda de la luz absorbida
 k_{λ} = Coeficiente de extinción
 \hat{A} = Absorbancia
 l = Longitud atravesada por la luz en el medio
 T = Transmitancia
 I_1, I_0 = Intensidad de luz transmitida y entrante

La unidad de medida del coeficiente de absorción es cm^{-1} y para la concentración se presenta en cm^{-3} . [27]

1.5.2.4 Análisis nefelométrico

La nefelometría es la detección de energía lumínica dispersa o reflejada de una muestra hacia un detector que no se encuentra en el camino del haz luminoso. La nefelometría mide la radiación dispersada con un detector colocado a 90 grados a partir de la dirección de la luz incidente, para no interferir con la luz transmitida, solo la dispersada.

Esta técnica suele usarse para soluciones con bajas concentraciones de partículas dispersadas (para concentraciones diluidas o muy diluidas), en este caso si la intensidad de radiación dispersada es menor que la intensidad transmitida, las partículas son muy pequeñas para producir una dispersión tipo Rayleigh.

En algunas ocasiones a esta técnica, se suele colocar la muestra en cubetas con revestimiento negro mate con dos ventanas ópticas en forma de rendija a 15 o 90 grados, para que las paredes absorban el exceso de energía incidente y la dispersión salga hacia el detector.

Un sistema nefelométrico ideal es el que produce un campo totalmente oscuro en el detector cuando no existen partículas difusas.

Para el análisis de la técnica Nefelométrica se presenta la Ecuación (4), y menciona que el cociente de la intensidad de luz incidente entre la intensidad de luz dispersada es directamente proporcional a la concentración de partículas que la muestra posee en un medio. [30]

$$\frac{I_d}{I_0} = k_s c \quad (4)$$

Donde: I_d = Intensidad de luz dispersada
 I_0 = Intensidad de luz entrante
 k_s = Constante empírica
 c = Concentración

La unidad de medida de la concentración es $\frac{mg}{l}$ o PPM (Partes por millón) que posteriormente se presenta como NTU (Nephelometric Turbidity Unit / Unidad Nefelométrica de Turbidez) por sus siglas en inglés, haciendo la conversión pertinente, conociendo que $1 \frac{mg}{l} = 3$ NTU. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe de superar en ningún caso las 5 NTU, se tomará este dato para comparar si nuestra agua es potable. [31]

1.5.2.5 Relación entre nefelometría y turbidimetría

Esta relación mide las intensidades de luz transmitida y dispersa, con dos sensores diferentes colocados a 0° y 90° , que producen tensiones V_0 y V_{90} . En esta relación los cambios en la absorción de luz del medio tienen la influencia de ambos detectores por lo que la señal permanece sin cambios y está dada como se muestra en la Ecuación (4):

$$V_{out} = \frac{V_{90}}{c_1 V_0 + c_2 V_{90}} \quad (5)$$

Donde c_1 y c_2 son coeficientes de calibración y V_{out} es la tensión final que se utilizara para calcular la absorción del medio. Esta característica tiene ventajas como la eliminación del efecto de la coloración en las lecturas y el aumento de la estabilidad del instrumento. Este método es funcional para muestras que presentan alta turbidez. [32]

1.5.2.6 Dispersión de Rayleigh

Cuando una onda electromagnética alcanza una partícula, parte de la radiación incidente es dispersada, la energía dispersada se denomina radiación difusa. Cuando las partículas son menores que la longitud de onda de la luz incidente, la solución es simple y puede ser descrita por la teoría de la dispersión de Rayleigh. [33]

Para poder calcular el total de luz dispersada o reflejada de una muestra con un ángulo específico, se utiliza la ecuación de la dispersión de Rayleigh que se muestra en la Ecuación (6):

$$I_d = I_0 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2 \left(\frac{d}{2}\right)^6 \quad (6)$$

Donde: I_d = Intensidad de luz dispersada
 I_0 = Intensidad de luz entrante
 λ = Longitud de onda
 R = Distancia de la partícula
 θ = Ángulo de dispersión
 n = Índice de refracción
 d = Diámetro de la partícula

Un haz de luz dirigido permanece intacto cuando se transmite a través de agua pura, pero incluso las moléculas de un fluido puro dispersarán la luz en cierto grado. Por lo que ninguna solución tendrá turbidez cero. En las muestras que contienen sólidos en suspensión, la manera en que la muestra interfiere con la transmitancia de la luz está relacionada con el tamaño, la forma, la composición de las partículas en la solución y con la longitud de onda de la luz incidente.

Una partícula diminuta interactuará con la luz incidente absorbiendo la energía luminosa y después actuará como una fuente de luz puntual, irradiará la energía luminosa en todas las direcciones. Esta irradiación constituye a la dispersión de la luz incidente. La distribución espacial de la luz dispersa depende de la relación entre el tamaño de la partícula y la longitud de onda de la luz incidente. Las partículas mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz incidente exhiben una distribución de dispersión bastante simétrica con cantidades aproximadamente iguales de luz dispersada. A medida que aumentan los tamaños de partícula en relación con la longitud de onda, la luz dispersada desde diferentes puntos de la partícula de muestra crea patrones de interferencia que son aditivos en la dirección hacia adelante. Esta interferencia constructiva da como resultado una luz dispersa hacia adelante de mayor intensidad que la luz dispersada en otras direcciones. [34]

A continuación, en la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 se muestran los patrones de comportamiento de la luz dispersada a partículas de diferentes tamaños.



Figura 7. Partículas pequeñas de $1/10$ de la longitud de onda, la dispersión es simétrica [34]

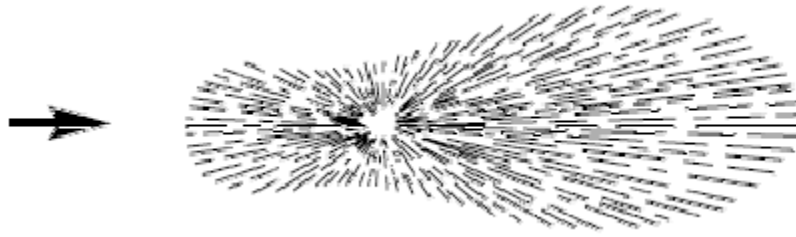


Figura 8. En partículas de 1/4 de la longitud de onda, la dispersión se concentra hacia adelante [34]

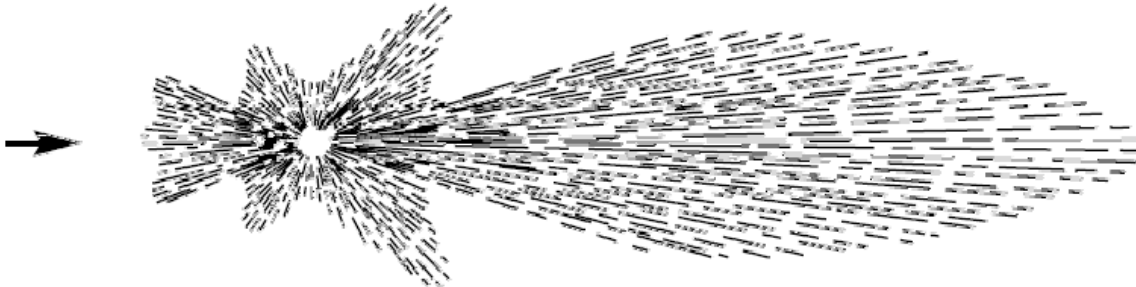


Figura 9. En partículas más grandes que la longitud de onda, la dispersión se concentra extremadamente hacia adelante. También se desarrollan máximos y mínimos de intensidad de dispersión en diferentes ángulos. [34]

Como se ha mencionado la forma de las partículas y el índice de refracción también afectan la distribución y la intensidad de la dispersión. Por ejemplo, las partículas esféricas exhiben una relación de dispersión de adelante hacia atrás más grande que las partículas en espiral o en forma de barra, el índice de refracción de una partícula es la medida de como una partícula redirige la luz que la atraviesa desde otro medio. Es muy importante que el índice de refracción de la partícula sea distinto al índice de refracción del fluido de la muestra para que se produzca dispersión. A medida que aumenta la diferencia entre los índices de refracción de las partículas en suspensión y el fluido en suspensión, la dispersión se vuelve más intensa. [34]

Otro factor importante que se debe incluir y puede influencia las respuestas, es el color de los sólidos suspendidos y el fluido de la muestra ya que son significativos en la detección de luz dispersa. Una sustancia coloreada absorbe la energía de la luz en ciertas bandas del espectro electromagnético visible, cambiando el carácter de la luz transmitida y la luz dispersa, evitando que una cierta porción de la luz dispersa llegue al sistema de detección. Cuando la concentración de partículas excede un cierto punto, los niveles detectables de luz dispersa y transmitida disminuyen rápidamente, marcando el límite superior de turbidez medible. Disminuir la longitud de la trayectoria de la luz a través de la muestra entre la fuente de emisión y el detector reduce el número de partículas que el haz debe de cruzar y extiende el límite superior de medición de turbidez. [35]

1.5.2.7 Análisis acústico

Para poder modificar la velocidad del sonido tenemos que cambiar las propiedades del medio en el que se propaga o el medio en el que está viajando la onda de sonido. Hay dos factores principales que van a afectar la velocidad de una onda de sonido a través de un medio el primero es la dureza del medio (módulo volumétrico) o rigidez mientras más duro sea el medio más rápido viajarán las ondas de sonido, y se debe a que en un medio con un módulo volumétrico mayor cada molécula estará interconectada con mayor fuerza a las moléculas que la rodean, por lo que cualquier perturbación va a viajar más rápidamente, el segundo factor es la densidad, y se debe a que mientras se tenga un material más denso las ondas de sonido viajarán más lento, si un material es muy denso tendrá más inercia y por lo tanto las ondas de sonido se moverán lentamente ante perturbaciones. [36]

Estas consideraciones antes mencionadas se tienen que tomar en cuenta para determinar la velocidad del sonido en el agua que se presenta en la Ecuación (7):

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (7)$$

Dónde: v = Velocidad del sonido en el medio
 B = Módulo volumétrico del medio
 ρ = Densidad del medio

El módulo volumétrico es el valor que representa que tan difícil es comprimir un material y sus unidades se muestran en pascales, ya que mide la presión necesaria para comprimir el material, la densidad representa cuánta masa hay por volumen. Debido a este hecho la velocidad del sonido será más rápido cuando viaja a través de sólidos que en vez de líquidos, pero también será más rápido si viaja a través de líquidos que viajar a través de gases, debido a que los materiales sólidos son más rígidos que los líquidos y los líquidos son más rígidos que los gases. [36]

Para detectar el tiempo que tarda el eco que emite el transductor emisor al objeto, corresponde a la mitad del tiempo que tarda el eco en ir y regresar por la onda reflejada. En la Figura 10 se puede observar un dibujo de cómo es que las ondas se propagan por el medio y rebotan con el objeto regresando al transductor.

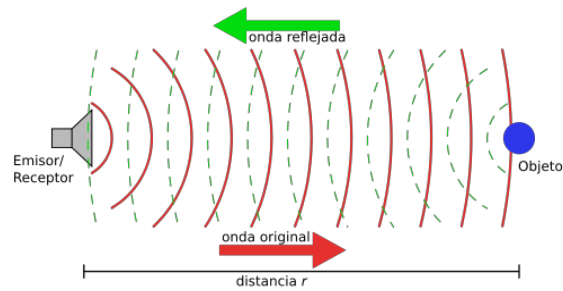


Figura 10. Reflexión de la onda de sonido con un objeto. [37]

Si conocemos la distancia r , se es capaz de calcular la velocidad del sonido en ese medio, utilizando la Ecuación (7):

$$v = \frac{r}{\frac{t}{2}} \quad (8)$$

Dónde: v = Velocidad del sonido en el medio
 r = Distancia del medio
 t = Tiempo que tarda la onda en llegar al objeto y regresar al receptor

La velocidad es la rapidez de cambio del desplazamiento, se define como la distancia recorrida por un objeto, dividido por el tiempo recorrido. La velocidad es una cantidad vectorial. La definición de velocidad implica que su unidad debe ser metros entre segundo o cualquier distancia dividida por una unidad de tiempo. [38]

Para realizar las mediciones de la velocidad del sonido en el agua, el integrado TDC1011 es un buen elemento para obtenerlo, este integrado es un driver para transductores ultrasónicos para identificación de nivel de líquido, concentración de fluidos y proximidad o distancia de los mismos. Todo esto se logra debido a que el integrado cuando se le envía el pulso de “TRIG”, este envía un pulso de “START” e inmediatamente al mismo tiempo al transductor acústico envía una serie de pulsos cuadrados por “TX”, mientras la onda se propaga a través del material el transductor modifica automáticamente su configuración de emisor a receptor, esperando la onda de “ECHO/RX” esta onda reflejada llega en forma de armónicos debido a la polarización del transductor, el transductor identifica los pulsos como movimientos de una membrana que eléctricamente los representa como señales senoidales, cabe resaltar que la frecuencia seleccionada con la que se envió el tren de pulsos será la misma frecuencia con la que llegan los armónicos. Cuando el integrado recibe la señal de “ECHO/RX”, aplica internamente un comparador de tensión con un umbral preestablecido que es el que emite el bit de “STOP”, una vez teniendo el bit de “START” y “STOP” el integrado TDC7200, mide el tiempo transcurrido entre ambos bits y la información la convierte a digital para que con

programación se pueda determinar la velocidad del sonido en el agua. En la Figura 11, se observa la emisión y recepción de las señales anteriormente mencionadas. [39]

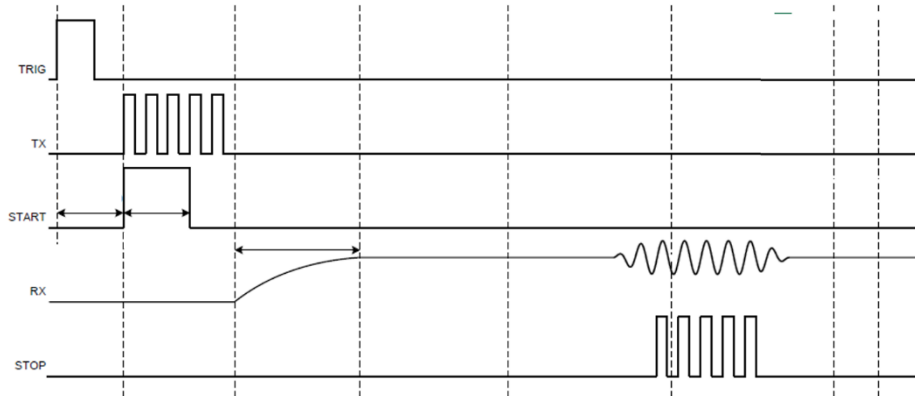


Figura 11. Ejemplo de las señales emisoras y receptoras de un transductor ultrasónico. [39]

El integrado TDC1011 tiene circuitos de detección de un cruce por cero, el comparador de umbra califica el siguiente cruce por cero después de que detecta una amplitud “RX” menor que la tensión de umbral programado. El pulso de “STOP” se mostrará hasta que un cruce por cero sea detectado y después la amplitud RX sea mayor que la tensión de umbral programado como se muestra en la Figura 12. [39]

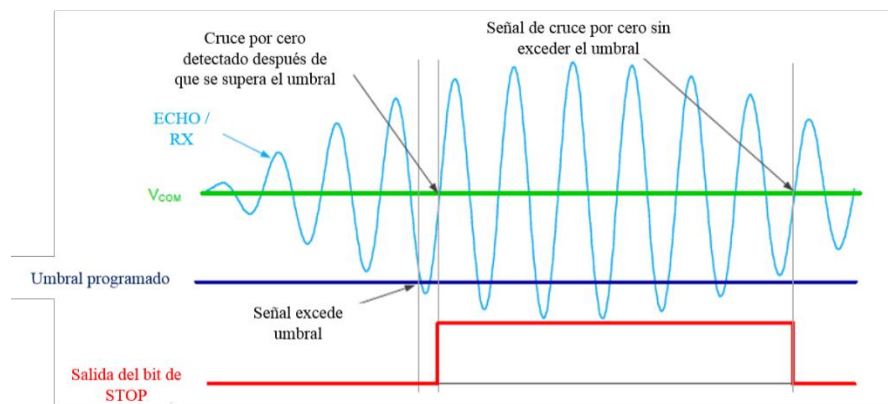


Figura 12. Identificación del pulso de "STOP". [39]

Otra consideración importante es que se tomara el primer bit de “STOP” para poder calcular la velocidad del sonido en el agua, esto debido a que puede haber más de un rebote, la energía de una onda sonora depende de la tensión en amplitud con la que se excita el transductor, la frecuencia de excitación del transductor y el número de pulsos a emitir. Si emitimos una onda sonora tomando en cuenta los parámetros antes mencionados podemos emitir una onda que cuando rebote la mayoría de la onda será reflejada, otra parte absorbida y el resto transmitida, esto dependerá del material que se utilizará para reflejar la onda. Esta técnica se centra en el

estudio de la sección reflejada, por lo que la energía de la señal disminuye y no es la misma energía de emisión, pero aun así el integrado es capaz de detectar el primer rebote sin problema, cuando una onda de emisión tiene mucha energía la onda puede rebotar en el material seleccionado y en el transductor múltiples veces, con cada reflexión la onda pierde energía. [40] En la Figura 13 se muestra un ejemplo de la comparación de las señales ultrasónicas de una muestra de agua simple y de una solución salina.

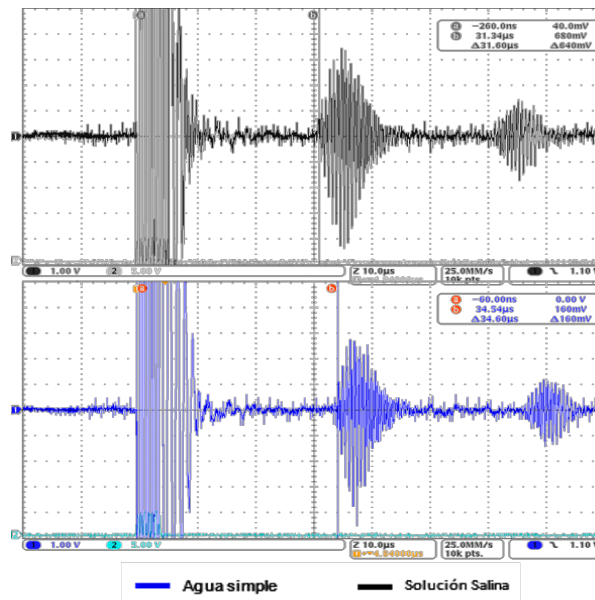


Figura 13. Señales del transductor acústico en osciloscopio. [40]

Se observa en la Figura 13, el eco emisor (primer pulso), luego el primer rebote con una amplitud óptima (segundo pulso) para poder detectar un bit de “STOP”, después detectamos un segundo rebote (tercer pulso) que presenta menor energía, dependiendo de la configuración del umbral se puede detectar el segundo rebote. En la misma Figura 13, también se aprecia que la señal de la muestra de agua simple presenta un retraso en la propagación de la onda a comparación de la solución salina donde se puede observar que el tiempo es menor y es posible calcular la velocidad del sonido en ambos líquidos. El integrado TDC1011 con el comparador de tensión y la configuración de umbral puede ignorar el resto de los rebotes si así se desea y solo detectar el primer rebote.

La Figura 14, muestra cómo se realiza la detección del bit de “STOP” a partir de la señal de “ECHO” recibida.

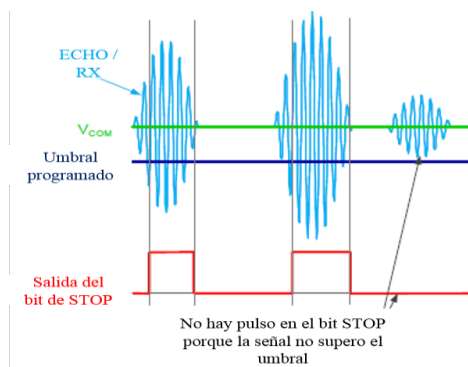


Figura 14. Señal ECHO/RX en rebotes. [39]

Para tener una buena detección del primer rebote, es necesario conocer los parámetros de la onda reflejada, como su amplitud y frecuencia que en muchas ocasiones se tiene que realizar de manera experimental y observar la señal de reflexión en un osciloscopio para poder seleccionar una buena tensión de umbral. El TDC1011 trabaja con niveles lógicos CMOS por lo que la amplitud será de 3.3V, aquí para emitir un pulso con más energía se tiene que elegir la frecuencia de excitación del transductor que es la mejor frecuencia con la que se puede trabajar, y el número de pulsos. [39]

Se tiene que tener en cuenta que esta técnica si se utiliza a radio frecuencias de onda media u onda larga por tiempos largos de emisión, puede generar cavitaciones que es la formación de burbujas de vapor en el interior de un líquido, fluido o material fisiológico, elevando a temperaturas muy altas el centro de la burbuja, ocasionando una explosión que es capaz de destruir las moléculas o iones que tengamos en suspensión dentro de la muestra del agua. [41] Por lo que se recomienda realizar esta técnica por tiempos cortos sin estar excitando al material con ondas en todo momento.

1.5.2.8 Elementos modelos a analizar Cloruro de Sodio (Sal Común)

El cloruro de sodio ($NaCl$), cloruro sódico o sal común es un compuesto iónico con apariencia de cristal blanco. Está formado por un catión sodio Na^+ y un anión cloruro Cl^- .

El cloruro de sodio potencia el sabor de los alimentos y presenta la capacidad de variar la presión de vapor de la disolución, esto significa que eleva el punto de ebullición y disminuye el punto de congelación según su concentración.

Mantiene la presión osmótica deshidratando virus y bacterias no esporulado, la concentración del líquido extracelular, el equilibrio ácido básico y el balance hídrico, contribuye a la conducción nerviosa y a la función neuromuscular; además, juega un papel importante en la

secreción glandular. Como es el caso de personas que realizan ejercicio físico con exceso de sudoración, como los deportes de resistencia. La duración del esfuerzo y la presencia de alta humedad o calor incrementan las pérdidas de electrolitos por medio del sudor. En estos casos suele ser aconsejable el consumo de bebidas con electrolitos para evitar la deshidratación. En el lado opuesto se encuentra el caso de personas cuyo consumo de sal sea excesivo. En estos casos se favorece que la presión arterial se encuentre elevada e incrementa el riesgo cardiovascular. Tanto el exceso de sal como su defecto son desaconsejables, por esta razón se aconseja un consumo responsable. La obtención de cloruro de sodio se produce por evaporación del agua del mar y de un mineral denominado roca de sal o halita. [42]

Las soluciones de cloruro de sodio se utilizan por vía intravenosa al prevenir o tratar las deficiencias de este ion. La Organización Mundial de la Salud recomienda un consumo de sodio mínimo de 500 mg/ día y máximo de 2000 mg/día. El cloruro sódico contiene un 40% de su peso en sodio. Una cucharada de sal de cocina de 5 gramos proporciona los 2000 mg de sodio. Las personas que sufran hipertensión arterial deben consumir menos de 1,500 mg/día. Las personas que padecen insuficiencia cardíaca congestiva, cirrosis hepática o nefropatía deben limitar aún más su consumo. La ingesta recomendada en la CE a efectos del etiquetado de alimentos es de 0.6 g/día, siendo su recomendación no sobrepasar los 6 g diarios de cloruro de sodio o su equivalente: 2,4 g/día de sodio. [42] [43]

El cloruro de sodio se utilizará para crear las curvas de calibración para el sistema nefelométrico y acústico. Las consideraciones físicas y químicas a tomar en cuenta para llevar a cabo los procesos de las curvas de calibración son los siguientes:

- Formula: $NaCl$
- Apariencia: Incoloro, cristales finos o pulverizados
- Densidad: 2160 kg/m^3
- Masa molar: 58.443 g/mol
- Índice de refracción: 1.545202
- Solubilidad en agua: 359 g/L en agua
- Producto de solubilidad: 37.79 mol

Pigmento Orgánico (Índigo Carmín)

Un pigmento orgánico es una molécula orgánica que actúa como colorante, lo que significa que cambia el color de la luz reflejada o transmitida como resultado de la absorción selectiva de longitud de onda. Además, es insoluble en sistemas de recubrimiento y polímeros. Los pigmentos orgánicos presentan una mayor fuerza de color y brillo. [44]

El Índigo Carmín es un colorante obtenido de un arbusto llamado Añil, aunque actualmente también se puede obtener por síntesis química, las principales utilidades de la indigotina en la industria alimentaria es el uso de la sustancia como colorante alimentario, en la industria farmacéutica como colorante de capsulas y en la industria textil se utiliza para teñir los pantalones de mezclilla azul comúnmente llamados “jeans”. Pero el carmín de índigo también se utiliza en química y farmacéuticas como indicador de pH y como indicador REDOX (oxido reducción). [45]

El índigo carmín se utilizará para crear las curvas de calibración para el sistema nefelométrico. Las consideraciones físicas y químicas a tomar en cuenta para llevar a cabo las curvas de calibración son los siguientes:

- Formula: $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$
- Apariencia: polvo púrpura
- Masa molar: 466.36 g/mol
- Solubilidad en agua: 10 g/L en agua

1.5.2.9 Curvas de calibración

Una curva de calibración es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito. La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva y, en consecuencia, la capacidad de determinar un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto en una muestra.

El procedimiento consiste en comparar una propiedad del analito con la de estándares de concentración conocida del mismo analito, para realizar la comparación correspondiente se requiere métodos y equipos adecuados para la resolución del problema de acuerdo al analito que se desea determinar. La calibración consiste en encontrar la recta o curva que mejor se ajuste a una serie de “n” puntos experimentales, donde cada punto se encuentra definido por una variable independiente y una variable dependiente. Las curvas de calibración pueden ser ecuaciones de recta o polinómica de diferente orden. [46]

Para realizar las curvas de calibración del sistema nefelómetro y acústico, se utilizarán disoluciones que contienen concentraciones conocidas de analito, que se llamarán disoluciones patrón o estándar. Estos estándares serán los patrones para construir la curva de calibración y deben ser preparadas de forma independiente, el número de puntos de experimentales dependerá del uso que se le dé a la curva, se requieren mínimo 5 muestras para que la curva sea confiable, y este número se suele aplica a métodos de rutina establecidos y validados. [47]

Las curvas de calibración del sistema nefelométrico se obtendrán haciendo múltiples pruebas de absorbancia contra concentración en cada longitud de onda disponible, preparando diferentes concentraciones de cloruro de sodio con agua e índigo carmín diluido en agua para posteriormente calcular las constantes de absorción de la ley de Lambert y Beer. Un ejemplo de la obtención de la curva se muestra en la Figura 15.

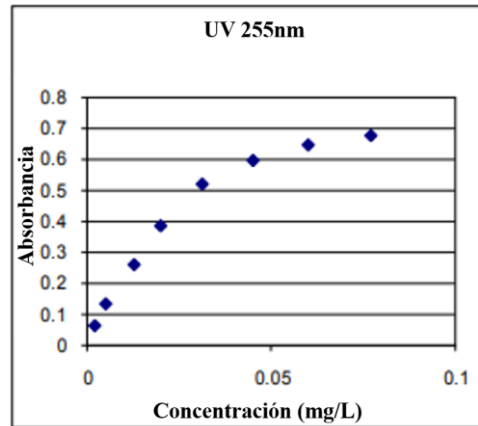


Figura 15. Ejemplo de curva de calibración por longitud de onda del sistema nefelométrico.

Para obtener la curva de calibración del sistema acústico, se realizará un proceso similar en donde se prepararán diferentes muestras utilizando cloruro de sodio diluido en agua, y midiendo la velocidad del sonido en ese medio, la obtención de la curva de calibración será concentración contra velocidad del sonido, esto funciona para poder calcular el módulo volumétrico del medio en donde viaja la onda en la ecuación de velocidad del sonido en un medio.

1.5.2.10 Series de tiempo con transformada de Fourier en tiempo discreto

Una vez teniendo las curvas de calibración necesarias para configurar el sistema, este ya se encuentra disponible para realizar mediciones reales y mostrar de manera cualitativa y cuantitativa la concentración y que tan turbio se encuentra una muestra. Para procesar esta información en periodos de tiempo se utilizan las series de tiempo que son conjuntos de datos numéricos que se recolectan en periodos regulares de tiempo, los intervalos de tiempo pueden ser cada minuto, cada hora, día, semana, quincena, mes, semestre o año, pero es muy importante mantener la frecuencia con la que se realizan las observaciones y registros del fenómeno de estudio. Esta técnica se aplica cuando los únicos datos que tenemos son aquellos que pertenecen a la variable que se desea pronosticar, con estos datos es posible construir gráficos que nos permitan observar el comportamiento del fenómeno. [48]

Una gráfica de tiempo siempre será una gráfica de dos dimensiones donde en el eje vertical se presentará la información de la variable de interés y en el eje horizontal corresponderá a

los periodos de tiempo. Para el sistema nefelométrico y acústico las series de tiempo serán de concentración contra el periodo de tiempo que determine el usuario. [48] En la Figura 16 se muestra un ejemplo de una serie de tiempo que puede ser interpretada por el usuario.

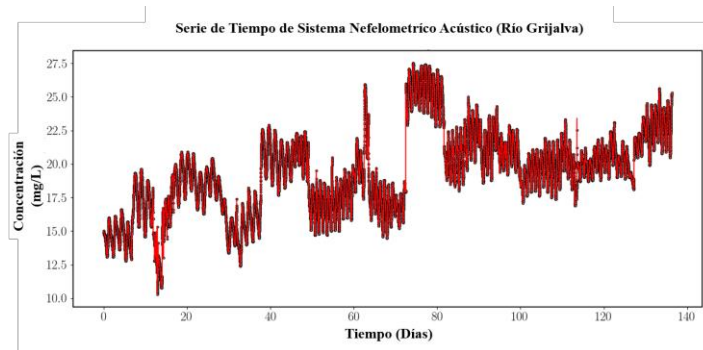


Figura 16. Ejemplo de Serie de tiempo para el sistema acústico. [49]

Existen herramientas numéricas que ayudan a realizar un análisis sobre los componentes de los datos, como el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo que hace más eficiente el cálculo de la transformada discreta de Fourier (DFT). La transformada de Fourier en tiempo discreto se usará para obtener el espectro de potencias, para aplicar la transformada es vital conocer el número de muestras por la que está constituida la serie de tiempo y el intervalo de tiempo considerado. Una vez teniendo la señal muestreada (serie de tiempo), podemos obtener la DFT por medio de la Ecuación (9) [49]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (9)$$

Finalmente, se obtiene una gráfica en donde muestra la transformada de Fourier de la serie de tiempo y se aprecia cuáles son los periodos de tiempo en donde hay mayor contaminación y con qué frecuencia. En la Figura 17, se muestra un ejemplo de la señal obtenida después de aplicar la transformada de Fourier en tiempo discreto.

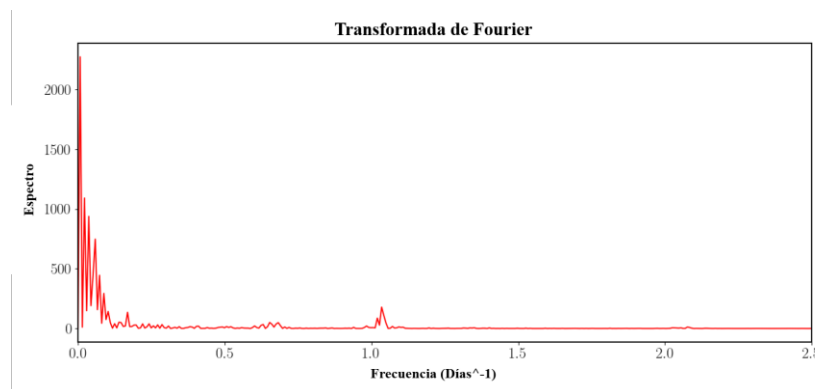


Figura 17. Ejemplo de Transformada de Fourier de la serie de tiempo del sistema acústico. [49]

Capítulo 2: Diseño Conceptual

2 Diseño Conceptual

2.1 Necesidades y requerimientos del sistema

El primer paso del diseño es determinar las necesidades del proyecto en general, para esto se consideraron las siguientes preguntas:

- ¿Qué hace el sistema?
- ¿Cómo lo hace?
- ¿Qué requisitos en cuanto a fabricación y procesos se necesita?
- ¿Qué problemática soluciona?

En el presente sistema, se busca conocer la luz transmitida y reflejada a través de un medio acuoso, por lo que se tomarán las bases que diferentes dispositivos y máquinas industriales utilizan para su funcionamiento y así construir el presente dispositivo, el cual está orientado para fines de investigación y busca realizar un análisis de muestras de agua en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, desde el infrarrojo, pasando por la luz visible y así hasta llegar al ultravioleta. Continuando con lo anterior, el nefelómetro y turbidímetro utilizan la técnica de nefelometría y turbidimetría para medir las partículas suspendidas en un líquido y en el caso del espectrofotómetro, la técnica de espectrofotometría para medir la cantidad de intensidad de luz absorbida después de pasar a través de una muestra.

Dadas las necesidades que se encontraron a partir de los alcances del proyecto, se determinaron los requerimientos de este, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Necesidades y Requerimientos.

Necesidades	Requerimientos
Generar emisiones de luz a diferentes longitudes de onda.	Implementar un conjunto de fuentes de luz que trabajen a diferentes longitudes de onda (VIS, UV, IR) para emitir un haz en la muestra de agua.
Ingresar las muestras de agua al dispositivo	Implementar un contenedor que no absorba la luz UV, VIS e IR.
Alimentar con electricidad al sistema	Implementar un sistema de suministro eléctrico al dispositivo
Controlar la obturación de las diferentes fuentes de luz.	Implementar un sistema para controlar la obturación de las fuentes de luz
Realizar un análisis nefelométrico para una muestra de agua	Diseñar un sistema nefelométrico mediante sensores ópticos para realizar el análisis de una muestra de agua en el espectro electromagnético VIS, UV, IR.
Realizar un análisis acústico a partir de una muestra de agua	Diseñar un sistema acústico para realizar un análisis de concentraciones en una muestra de agua.
Hacer un panel de control y visualización del análisis realizado por el sistema	Implementar una interfaz de usuario con la que se inicie, pause y paren los procesos, así como un indicador del estado activo del sistema.

2.2 Áreas funcionales

El objetivo principal de dividir el proyecto en sistemas y subsistemas es solucionar los problemas específicos que surgen de los requerimientos, además cada uno de los subsistemas están comprendidos por una o más tareas específicas, las cuales al final permitirán cumplir con el objetivo principal del proyecto. En la Tabla 2, se muestran los sistemas, subsistemas y tareas que componen a este proyecto.

Tabla 2. Sistemas, Subsistemas y Tareas del proyecto.

Sistema	Subsistema	Tareas
Nefelometría	Contenedor de Agua para el análisis de la Nefelometría	- Almacenar una Muestra de Agua para el sistema de nefelometría
	Elementos Ópticos	- Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua
	Control de Nefelometría	- Controlar la selección de las Fuentes de Luz - Realizar las mediciones de las Fuentes de Luz - Controlar el mecanismo para posicionar a los sensores ópticos - Generar las Obturaciones para excitar las fuentes de luz
Acústico	Contenedor de Agua para el análisis Acústico	- Almacenar una Muestra de Agua para el sistema acústico
	Control Acústico	- Emitir y Recibir las Señales de Ultrasonido - Controlar la propagación del Eco de las señales de Ultrasonido
Eléctrico y Electrónico	Alimentación Eléctrica	- Alimentar los circuitos electrónicos - Alimentar los actuadores, motores y transductores
	Circuitos Eléctricos y Placas	- Acondicionar los circuitos de alimentación y de potencia - Acondicionar los circuitos del sistema nefelométrico y acústico
Análisis y Procesamiento	Unidad de procesamiento	- Procesar información del sistema nefelométrico - Procesar información del sistema acústico
	Comunicación	- Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema nefelométrico - Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema acústico - Enviar y recibir información entre el Procesador y la PC
	Unidad de análisis	- Visualizar el estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas - Interpretar los resultados en un Software intérprete
Mecánico	Estructura general y chasis	- Soportar al sistema de Nefelometría y Acústica
	Mecanismo de posición para las fuentes de luz	- Posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría

	Troceador Mecánico	- Obturar mecánicamente a la Fuente de Luz UV
	Mecanismo de posición de los receptores ópticos	- Posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría
	Soporte de la celda de cuarzo y el lente de cuarzo	- Soportar la celda de agua para el sistema de nefelometría - Soportar la lente de cuarzo del sistema óptico
	Soporte del contenedor de agua para el análisis acústico	- Soportar el contenedor de agua para el sistema acústico
	Soporte de los motores	- Soportar a los Motores a pasos y CD
	Mecanismo del Transductor Ultrasónico	- Soportar el transductor ultrasónico - Posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua

2.3 Bosquejo del diseño conceptual en CAD

A partir de las áreas funcionales que se definieron previamente, se realizó un bosquejo del proyecto, en donde se plasman los subsistemas considerados para delimitar algunas de las dimensiones de la ubicación de circuitos electrónicos y componentes que se requieren.

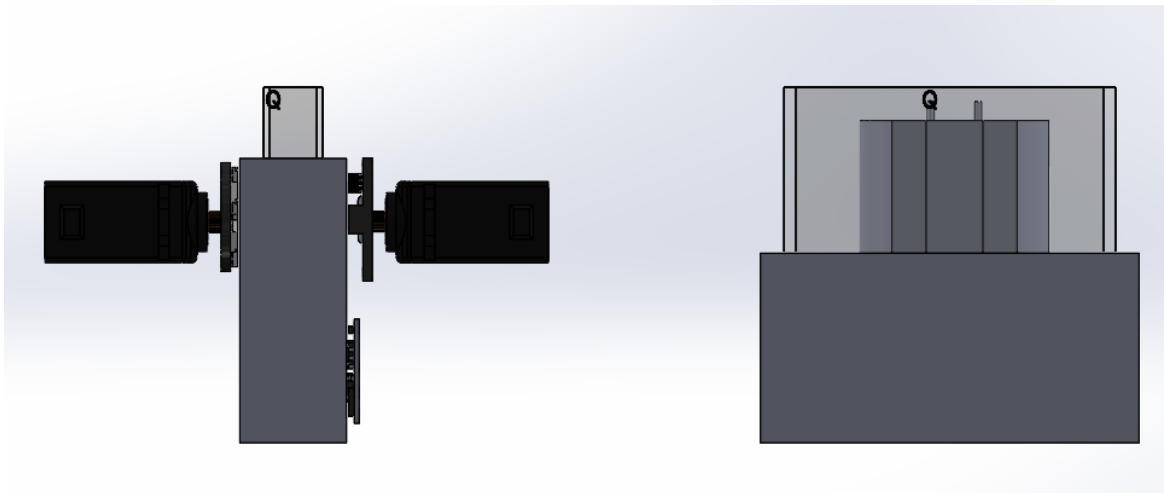


Figura 18. Bosquejo del diseño conceptual del sistema nefelométrico y acústico

Dado a que las vistas del bosquejo en 3D, mostrado en la Figura 18, no permiten observar características del diseño a detalle, se llevó a cabo un bosquejo en CAD que se muestra en la Figura 19. En este se observan vistas isométricas de los componentes, en los cuales se pueden apreciar de mejor manera elementos que componen al sistema.

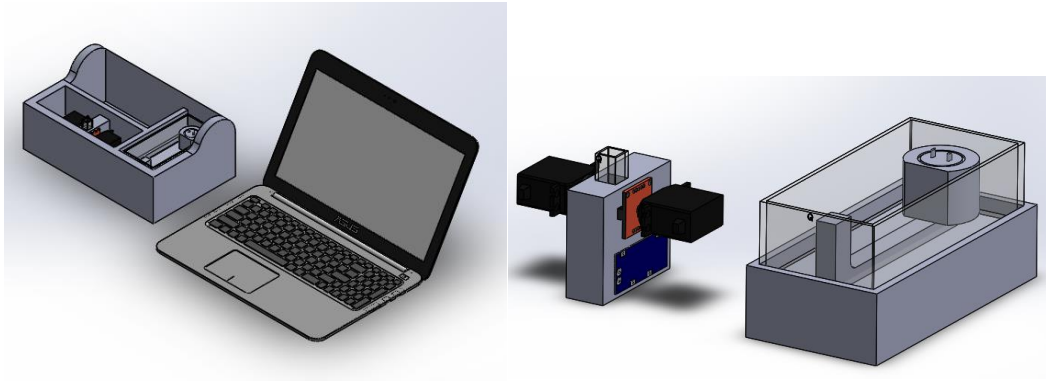


Figura 19. Bosquejo del diseño conceptual en SolidWorks del sistema nefelométrico y acústico

2.4 Diagrama IDEF-0

Establecidas las áreas funcionales que se definieron con base a las necesidades y requerimientos del sistema, se procedió a realizar los diagramas IDEF-0 correspondientes. Dado a que el comportamiento del dispositivo se rige principalmente por 2 sistemas fundamentales (nefelometría y acústica), se requirió hacer 2 Diagramas IDEF-0, tal como se muestra en la Figura 20 y Figura 21, permitiendo percibir a estos en subsistemas los cuales se interconectan entre sí, y así contemplar las entradas, salidas, controles y mecanismos de cada uno de ellos.

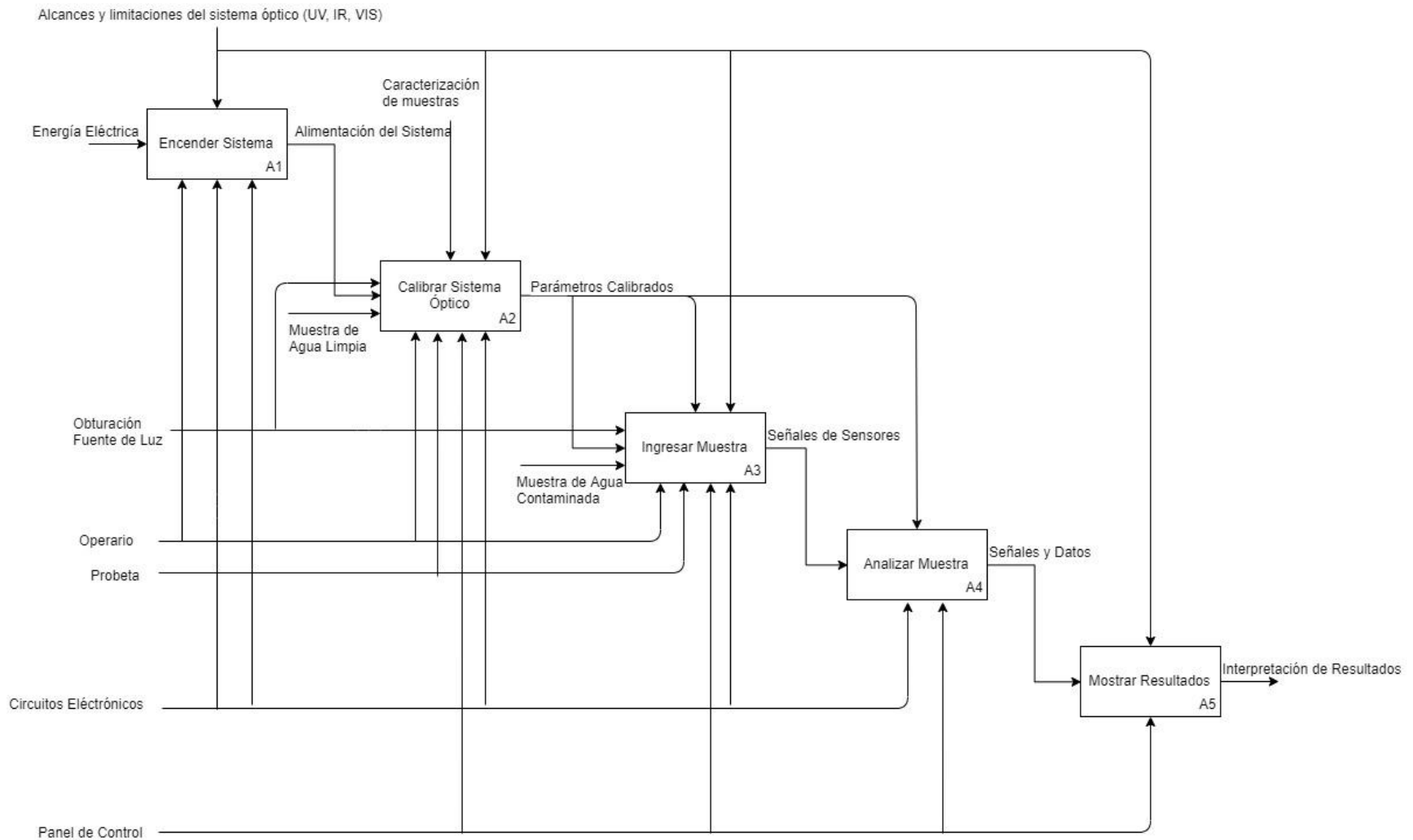


Figura 20. Diagrama IDEF-0 para el Sistema Nefelométrico Multi-Espectral.

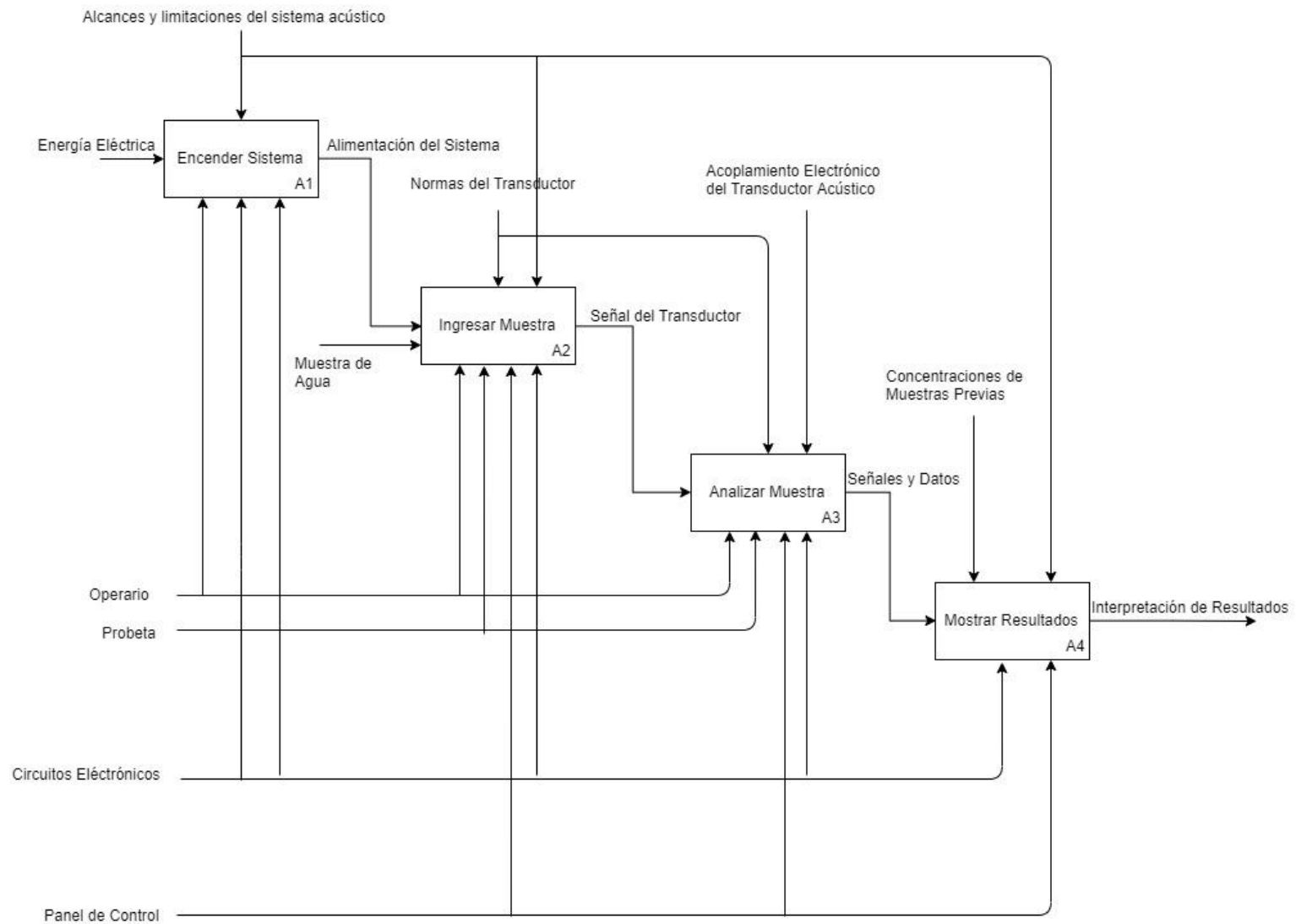


Figura 21. Diagrama IDEF-0 para el Sistema Acústico

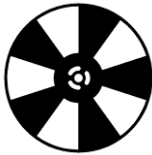
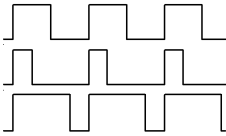

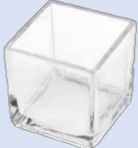













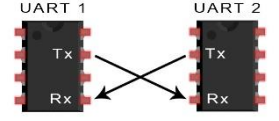
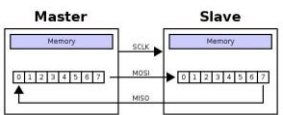


2.5 Análisis morfológico









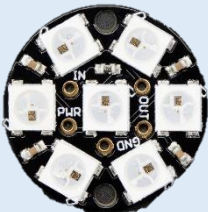






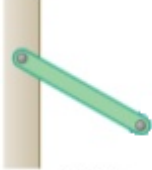
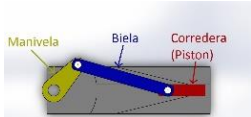

Teniendo definidas las áreas funcionales, así como cada uno de sus sistemas y subsistemas, se empleó un análisis morfológico en el que se propusieron diferentes soluciones para las tareas primordiales y de esta manera generar diferentes rutas en la matriz morfológica que se muestra en la Tabla 3.

Para cada una de las tareas se propusieron tres soluciones, y mediante la realización de matrices ponderadas se obtuvo la mejor opción para cada una de ellas y así alcanzar una ruta crítica para la matriz morfológica. Cabe mencionar que la selección de las soluciones queda sujeta a posibles cambios o mejoras que puedan resultar de la realización de pruebas o experimentos que proporcionen datos o parámetros importantes que deban tomarse en cuenta para el diseño.

Tabla 3. Matriz Morfológica.

Funciones	Solución I	Solución II	Solución III
Sistema de Nefelometría			
Almacenar una Muestra de Agua para el sistema de Nefelometría	Celda Cuadrada 	Probeta 	Vaso de Precipitado 
Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua	Espejos 	Lente Convexa 	Prisma de vidrio 
Controlar la selección de las Fuentes de Luz	Corrimiento de bits 	Bit a bit 	Matriz de bits 
Realizar las mediciones de las Fuentes de Luz	Electrónica Analógica 	Sensor Inteligente 	Sensor Analógico 

<p>Generar las Obturaciones para excitar las Fuentes de Luz</p>	<p>Mecánico</p> 	<p>Eléctrica</p> 	<p>Generador de Funciones Digital</p> 
<p>Sistema Acústico</p>			
<p>Almacenar una Muestra de Agua para el Sistema Acústico</p>	<p>Recipiente Cuadrado</p> 	<p>Recipiente Circular</p> 	<p>Recipiente Rectangular</p> 
<p>Emitir y Recibir las Señales de Ultrasonido</p>	<p>Microprocesador</p> 	<p>Electrónica Analógica</p> 	<p>Driver con oscilador</p> 
<p>Sistema Eléctrico y Electrónico</p>			
<p>Alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores</p>	<p>Fuente de alimentación AC-DC</p> 	<p>Batería LiPo</p> 	<p>Baterías Alcalina</p> 
<p>Sistema de Análisis y Procesamiento</p>			
<p>Procesar información del sistema de Nefelometría y Acústica</p>	<p>AVR</p> 	<p>PIC</p> 	<p>DSPIC</p> 
<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema nefelométrico</p>	<p>SPI</p> 	<p>I²C</p> 	<p>UART</p> 
<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema acústico</p>	<p>SPI</p> 	<p>Manchester</p>  <p>Manchester (as per IEEE 802.3)</p>	<p>I²C</p> 

<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y la PC</p>	<p>Serial Bluetooth</p> 	<p>Serial RS232 – USB</p> 	<p>USB-A a USB Mini-B</p> 
<p>Visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas</p>	<p>Panel de Control</p> 	<p>PC</p> 	<p>APP</p> 
<p>Sistema Mecánico</p>			
<p>Posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría</p>	<p>Cremallera con base</p> 	<p>Fuentes fijas (manual)</p> 	<p>Revolver</p> 
<p>Obturar mecánicamente a la Fuente de Luz UV (Troceador Mecánico)</p>	<p>Micro Motorreductor</p> 	<p>Motor a Pasos</p> 	<p>Mini Servomotor</p> 
<p>Posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría</p>	<p>Cremallera con base</p> 	<p>Revolver y Tornillo sin fin</p> 	<p>Receptores fijos (manual)</p> 
<p>Posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua</p>	<p>Eslabón apoyado contra un plano</p> 	<p>Biela-Manivela-Corredera</p> 	<p>Brazo Robótico</p> 

2.6 Selección ponderada

Una vez realizada la matriz morfológica, se procedió a determinar cuál de las soluciones propuestas es la mejor alternativa. Por lo cual se realizó una matriz ponderada para cada una de las funciones/tareas consideradas.

La determinación de la mejor alternativa se realizó con base a los rubros de la Tabla 4, en donde la decisión final se determinó con a las características más importantes a cubrir, las cuales están asignadas con un peso que puede ir de 0 a 1.

Tabla 4. Rubros para la matriz ponderada.

Rubro	Ponderación
Nulo	2
Malo	4
Regular	6
Bueno	8
Excelente	10

De esta manera, el valor ponderado se rige por la siguiente ecuación:

$$Vp = VR_1P_1 + VR_2P_2 + \dots + VR_nP_n \quad (10)$$

Donde: $Vp = Valor\ ponderado$

$VR = Valor\ del\ rubro$

$P = Peso\ asignado$

La selección ponderada para cada función/tarea se muestra de la Tabla 5 a la Tabla 21.

2.6.1 Almacenar una muestra de agua para el sistema de nefelometría

Tabla 5. Matriz de ponderación para almacenar una muestra de agua para el sistema de nefelometría.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Dimensión	0.2	Tamaño del recipiente	cm	6	1.2	8	1.6	10	2.0
Forma	0.3	Reducir la refracción de la luz	-	10	3.0	8	2.4	8	2.4
Sin Absorción	0.3	Incapacidad de absorber la luz UV	-	10	3.0	6	1.8	2	0.6
Costo	0.2	Costo del producto	\$	2	0.4	8	1.6	8	1.6
Total	100%			28	7.6	26	7.4	24	6.8

2.6.2 Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua

Tabla 6. Matriz de ponderación para Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Dimensión	0.1	Tamaño del elemento	cm	6	0.6	8	0.8	6	0.6
Potencia	0.4	Capacidad de hacer converger un haz de luz incidente	m ⁻¹	4	1.6	8	3.2	8	3.2
Sin Absorción	0.3	Incapacidad de absorber la luz UV	-	6	1.8	10	3.0	8	2.4
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	4	0.8	6	1.2
Total	100%			24	5.6	30	7.8	28	7.4

2.6.3 Controlar la selección de las fuentes de luz

Tabla 7. Matriz de ponderación para controlar la selección de las fuentes de luz.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Pines	0.5	Cantidad de Pines para controlar todas las Fuentes de Luz	-	10	5.0	4	2.0	6	3.0
Tiempo	0.3	Tiempo requerido para seleccionar una Fuente de Luz	s	8	2.4	8	2.4	8	2.4
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	6	1.2	8	1.6
Total	100%			26	9.0	18	5.6	22	7.0

2.6.4 Realizar las mediciones de las fuentes de luz

Tabla 8. Matriz de ponderación para realizar las mediciones de las fuentes de luz.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Acondicionamiento	0.3	No se requiere acondicionar para realizar las lecturas	-	2	0.6	10	3.0	6	1.8
Velocidad	0.2	Velocidad para cambiar entre un sensor y otro	datos/s	8	1.6	8	1.6	8	1.6
Precisión	0.3	Resolución de las lecturas	V	6	1.8	8	2.4	8	2.4
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	6	1.2	6	1.2
Total	100%			24	5.6	32	8.2	28	7.0

2.6.5 Generar las obturaciones para excitar las fuentes de luz

Tabla 9. Matriz de ponderación para generar las obturaciones para excitar las fuentes de luz.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Simplicidad	0.4	Facilidad de implementarlo al sistema óptico	-	8	3.2	10	4.0	6	2.4
Velocidad	0.2	Velocidad para generar las obturaciones	vueltas/s	8	1.6	8	1.6	10	2.0
Rango	0.2	Rango de frecuencias	Hz	8	1.6	6	1.2	10	2.0
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	10	2.0	6	1.2
Total	100%			32	8.0	34	8.8	32	7.6

2.6.6 Almacenar una muestra de agua para el sistema acústico

Tabla 10. Matriz de ponderación para almacenar una muestra de agua para el sistema acústico.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Dimensión	0.2	Tamaño del recipiente	cm	8	1.6	8	1.6	10	2.0
Ensamble	0.3	Posicionamiento de los componentes	-	6	1.8	4	1.2	6	1.8
Manufactura	0.3	Facilidad de manufactura	-	10	3.0	6	1.8	10	3.0
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	8	1.6	8	1.6
Total	100%			34	8.0	28	6.2	36	8.4

2.6.7 Emitir y recibir las señales de ultrasonido

Tabla 11. Matriz de ponderación para emitir y recibir las señales de ultrasonido.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Velocidad	0.2	Velocidad para realizar las lecturas	datos/s	6	1.2	8	1.6	8	1.6
Acondicionamiento	0.4	Acondicionamiento mínimo para realizar las lecturas	-	2	0.8	4	1.6	8	3.2
Simplicidad	0.2	Facilidad de implementarlo al sistema acústico	-	6	1.2	6	1.2	8	1.6
Costo	0.2	Costo del producto	\$	6	1.2	8	1.6	6	1.2
Total	100%			20	4.4	26	6.0	30	7.6

2.6.8 Alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores

Tabla 12. Matriz de ponderación para alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Tensión	0.3	Tensión de salida suficiente para los componentes	V	10	3.0	8	2.4	4	1.2
Corriente	0.3	Corriente de salida suficiente para los componentes	A	8	2.4	8	2.4	4	1.2
Estabilidad	0.2	Capacidad para mantener la salida de tensión estable	-	8	1.6	8	1.6	6	1.2
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	6	1.2	10	2.0
Total	100%			34	8.6	30	7.6	24	5.6

2.6.9 Procesar información del sistema de nefelometría y acústica

Tabla 13. Matriz de ponderación para procesar información del sistema de Nefelometría y Acústica.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Lenguaje	0.2	Lenguaje de programación a implementar	-	8	1.6	8	1.6	8	1.6
Pines	0.3	Pines necesarios para el sistema	-	8	2.4	10	3.0	8	2.4
Memoria	0.2	Capacidad de almacenamiento de datos y operaciones	-	8	1.6	10	2.0	10	2.0
Costo	0.3	Costo del producto	\$	8	2.4	10	3.0	6	1.8
Total	100%			32	8.0	38	9.6	32	7.8

2.6.10 Enviar y recibir información entre el procesador y el sistema nefelométrico

Tabla 14. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y el sistema nefelométrico.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Protocolo Sensores	0.4	Protocolo de comunicación que utiliza el sensor	-	6	2.4	8	3.2	2	0.8
Programación	0.3	Facilidad de programar	-	8	2.4	8	2.4	8	2.4
Pines	0.3	Cantidad de Pines para realizar la comunicación	-	8	2.4	8	2.4	8	2.4
Total	100%			20	7.2	24	8.0	18	5.6

2.6.11 Enviar y recibir información entre el procesador y el sistema acústico

Tabla 15. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y el sistema acústico.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Protocolo Drivers	0.4	Protocolo de comunicación que utilizan los drivers	-	8	3.2	2	0.8	2	0.8
Programación Pines	0.3	Facilidad de programar	-	8	2.4	6	1.8	8	2.4
	0.3	Cantidad de Pines para realizar la comunicación	-	8	2.4	8	2.4	8	2.4
Total	100%			24	8.0	16	5.0	18	5.6

2.6.12 Enviar y recibir información entre el procesador y la PC

Tabla 16. Matriz de ponderación para enviar y recibir información entre el procesador y la PC.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Acondicionamiento	0.3	Acondicionamiento mínimo para realizar la comunicación	-	8	2.4	8	2.4	8	2.4
Programación	0.2	Facilidad de programar	-	8	1.6	8	1.6	8	1.6
Simplicidad	0.3	Facilidad de implementarlo al sistema	-	6	1.8	6	1.8	8	2.4
Costo	0.2	Costo del producto	\$	6	1.2	8	1.6	8	1.6
Total	100%			28	7.0	30	7.4	32	8.0

2.6.13 Visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas

Tabla 17. Matriz de ponderación para visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Visualización	0.2	Intuitivo para el usuario	-	8	1.6	10	2.0	8	1.6
Operación	0.4	Intuitivo para el usuario	-	8	3.2	10	4.0	10	4.0
Comunicación	0.2	Comunicación rápida con el procesador	-	6	1.2	8	1.6	4	0.8
Costo	0.2	Costo global	\$	4	0.8	6	1.2	10	2.0
Total	100%			26	6.8	34	8.8	32	8.4

2.6.14 Posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría

Tabla 18. Matriz de ponderación para posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Velocidad	0.2	Velocidad para posicionar las fuentes de luz	°/s	6	1.2	4	0.8	8	1.6
Precisión	0.4	Precisión para posicionar las fuentes de luz	cm	8	3.2	6	2.4	10	4.0
Alimentación Eléctrica	0.2	Voltaje de operación del mecanismo	V	8	1.6	10	2.0	8	1.6
Costo	0.2	Costo del producto	\$	6	1.2	8	1.6	6	1.2
Total	100%			28	7.2	28	6.8	32	8.4

2.6.15 Obturar mecánicamente a la fuente de luz uv (troceador mecánico)

Tabla 19. Matriz de ponderación para obturar mecánicamente a la fuente de Luz UV (Troceador Mecánico).

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Velocidad	0.3	Velocidad para alcanzar las obturaciones	vueltas/s	8	2.4	8	2.4	4	1.2
Resolución	0.2	Resolución para alcanzar las obturaciones	Hz	8	1.6	10	2.0	4	0.8
Torque	0.2	Torque del motor para vencer la fuerza inercial del disco obturador	kg/cm	6	1.2	10	2.0	8	1.6
Alimentación Eléctrica	0.2	Voltaje y Corriente de operación	V	10	2.0	4	0.8	8	1.6
Costo	0.1	Costo del producto	\$	8	0.8	6	0.6	8	0.8
Total	100%			40	8.0	40	7.8	32	6.0

2.6.16 Posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría

Tabla 20. Matriz de ponderación para posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Velocidad	0.2	Velocidad para posicionar los receptores ópticos	%s	6	1.2	8	1.6	4	0.8
Precisión	0.3	Precisión para posicionar los receptores ópticos	cm	8	2.4	8	2.4	6	1.8
Área de Trabajo	0.3	Espacio requerido para el mecanismo	cm	4	1.2	8	2.4	4	1.2
Costo	0.2	Costo del producto	\$	6	1.2	6	1.2	8	1.6
Total	100%			24	6.0	30	7.6	22	5.4








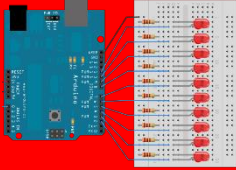



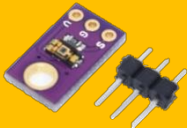






2.6.17 Posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua










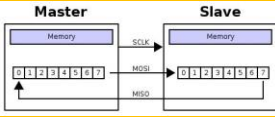
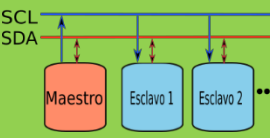
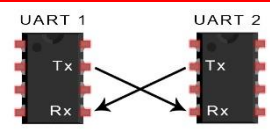
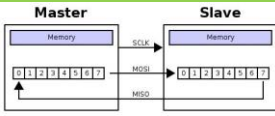
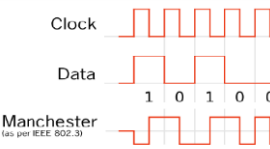
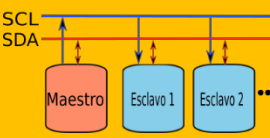






Tabla 21. Matriz de ponderación para posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua.

Criterios	Peso	Características	Unidad	Soluciones					
				Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
				Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado	Valor del Rubro	Valor Ponderado
Precisión	0.2	Precisión para posicionar el transductor ultrasónico	cm	6	1.2	8	1.6	8	1.6
Área de Trabajo	0.3	Espacio requerido para el mecanismo	cm	8	2.4	6	1.8	4	1.2
Manufactura	0.3	Facilidad de manufactura	-	10	3.0	8	2.4	4	1.2
Costo	0.2	Costo del producto	\$	8	1.6	6	1.2	2	0.4
Total	100%			32	8.2	28	7.0	18	4.4

Finalmente, en la siguiente Tabla 22 se muestran los resultados de la ruta crítica obtenida a partir de las matrices ponderadas.

Tabla 22. Ruta Crítica obtenida de las Matrices Ponderadas.

Funciones	Solución I	Solución II	Solución III
Sistema de Nefelometría			
Almacenar una Muestra de Agua para el Sistema de Nefelometría	Celda Cuadrada 	Probeta 	Vaso de Precipitado 
Enfocar la luz emitida de las fuentes de luz al contenedor de agua	Espejos 	Lente Convexa 	Prisma de vidrio 
Controlar la selección de las Fuentes de Luz	Corrimiento de bits 	Bit a bit 	Matriz de bits 
Realizar las mediciones de las Fuentes de Luz	Electrónica Analógica 	Sensor Inteligente 	Sensor Analógico 
Generar las Obturaciones para excitar las Fuentes de Luz	Mecánico 	Eléctrica 	Generador de Funciones Digital 
Sistema Acústico			
Almacenar una Muestra de Agua para el Sistema Acústico	Recipiente Cuadrado 	Recipiente Circular 	Recipiente Rectangular 

<p>Emitir y Recibir las Señales de Ultrasonido</p>	<p>Microprocesador</p> 	<p>Electrónica Analógica</p> 	<p>Driver con oscilador</p> 
<p>Sistema Eléctrico y Electrónico</p>			
<p>Alimentar los circuitos electrónicos, actuadores, motores y transductores</p>	<p>Fuente de alimentación AC-DC</p> 	<p>Batería LiPo</p> 	<p>Batería Alcalina</p> 
<p>Sistema de Análisis y Procesamiento</p>			
<p>Procesar información del sistema de Nefelometría y Acústica</p>	<p>AVR</p> 	<p>PIC</p> 	<p>DSPIC</p> 
<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema nefelométrico</p>	<p>SPI</p> 	<p>I²C</p> 	<p>UART</p> 
<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y el sistema acústico</p>	<p>SPI</p> 	<p>Manchester</p> 	<p>I²C</p> 
<p>Enviar y recibir información entre el Procesador y la PC</p>	<p>Serial Bluetooth</p> 	<p>Serial RS232 – USB</p> 	<p>USB-A a USB Mini-B</p> 
<p>Visualizar estado de inicio, análisis y resultados de las lecturas realizadas</p>	<p>Panel de Control</p> 	<p>PC</p> 	<p>APP</p> 

Sistema Mecánico			
Posicionar las fuentes de luz en el sistema de nefelometría	Cremallera con base 	Fuentes fijas (manual) 	Revolver 
Obturar mecánicamente a la Fuente de Luz UV (Troceador Mecánico)	Micro Motorreductor 	Motor a Pasos 	Mini Servomotor 
Posicionar los receptores ópticos en el sistema de nefelometría	Cremallera con base 	Revolver y Tornillo sin fin 	Receptores fijos (manualmente) 
Posicionar el transductor ultrasónico dentro de la muestra de agua	Eslabón apoyado contra un plano 	Biela-Manivela-Corredera 	Brazo Robótico 

A partir del análisis morfológico y las matrices de ponderación que se realizaron anteriormente, la trayectoria en color verde que se observa en la Tabla 22 corresponde a la ruta crítica más adecuada para solucionar las tareas propuestas para los diferentes sistemas.

El diseño morfológico nos muestra que el diseño del proyecto está comprendido inicialmente por el sistema de nefelometría, el cual tendrá como contenedor para el agua una celda cuadrada de cuarzo, el cual es el mismo tipo de celda que se utiliza en las máquinas industriales que realizan este tipo de análisis y así garantizar un diseño compacto. Por otro lado, el control de la emisión de las fuentes de luz se realizará mediante un integrado de corrimiento de bits lo cual permitirá la conexión de “n” fuentes de luz con un diseño electrónico muy compacto. Junto a este punto se ha planteado que la generación de obturaciones para estas mismas fuentes de luz se hará de manera eléctrica, es decir, utilizando componentes electrónicos, aunque no se descarta la posibilidad de considerar la opción de hacerlo también de manera mecánica dado a las fuentes que no sean posible obturar eléctricamente. También se ha contemplado que para realizar las mediciones de las emisiones

de las fuentes de luz se implementará un sensor inteligente con el propósito de que este pueda leer un amplio rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético y que así el diseño de un acondicionamiento para las señales no sea requerido.

En lo que corresponde al sistema acústico se ha propuesto como contenedor de la muestra de agua a un recipiente con forma rectangular, dado a que se requiere de un espacio en el cual el ultrasonido pueda propagarse fácilmente. En el caso para la emisión y recepción de las señales de ultrasonido se ha optado por utilizar drivers ya comerciales debido a que estos ya ofrecen un acondicionamiento que permite hacer lecturas para las señales de alta frecuencia con las que se estarán trabajando.

En cuanto al sistema eléctrico y electrónico, se seleccionó que la alimentación del dispositivo sea mediante una fuente de alimentación AC-DC, dado a que habrá componentes que requieren una alta demanda de corriente por lo cual se necesita que el suministro de tensión y corriente sea estable. Aunque no se destaca considerar una batería LiPo para una alternativa de alimentación

Para el sistema de análisis y procesamiento, se ha elegido como unidad de procesamiento a un Microcontrolador PIC, dado a que cumple con los requisitos mínimos para el sistema, por lo que se plantea la opción para utilizarlo el diseñar su acondicionamiento o como parte de una Tarjeta de Desarrollo. Derivado de esto, se ha planteado el uso de comunicaciones SPI e I²C para los sistemas de nefelometría y acústica, los cuales dependerán de los sensores o dispositivos que se implementarán para su funcionamiento. En el caso de la comunicación entre el procesador y la PC, se ha optado por realizarla mediante conexión USB-A a USB-Mini-B y en lo que respecta a la visualización de los procesos del sistema se seleccionó una interfaz gráfica a través de una PC ya que por el tipo de pruebas que se estarán recomendando, esta opción es la más viable para observar y almacenar los resultados que se ofrezcan de la nefelometría y acústica.

Finalmente, para el sistema mecánico se ha propuesto un mecanismo de tipo revolver para posicionar las fuentes de luz dado a que esto permite minimizar los espacios a utilizar y da como posibilidad el implementar fuentes con diferentes longitudes de onda. Debido a que hay fuentes que no son posibles obturarlas eléctricamente, se ha propuesto hacerlo de manera mecánica y para ello se estará utilizando un Micro Motorreductor por cuestiones del espacio y velocidad que puede alcanzar a igualar las frecuencias de la obturación eléctrica. Para posicionar a los receptores ópticos del sistema de nefelometría se ha propuesto un sistema de tornillo sin fin, ya que cuenta con mecanismo de auto bloqueo para que una vez llegue a una posición deseada no haya problemas de movimiento no deseado. Por último, se ha propuesto un mecanismo muy simple como lo es el de un eslabón apoyado contra un plano para posicionar al transductor ultrasónico dentro de su debido recipiente de agua, que en otras palabras consistirá en una tapa en donde pueda reposar dicho transductor y que se coloque manualmente.

2.7 WBS

En la Figura 22 se muestra la descomposición jerárquica de los sistemas y las tareas a realizar. De esta manera se puede visualizar el proceso que se tiene que seguir para llegar al producto final.

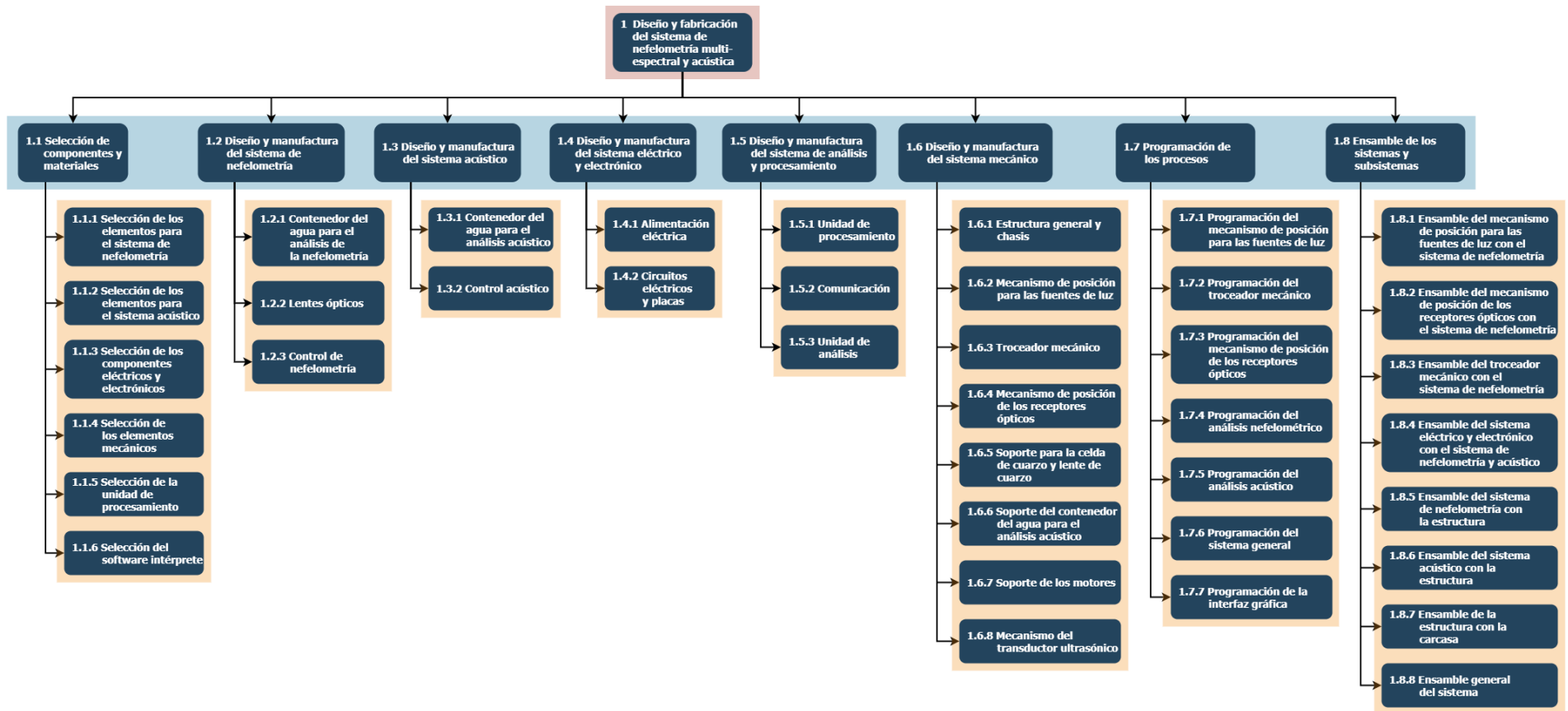


Figura 22. Diagrama WBS para el proyecto.

Capítulo 3: Diseño Detallado

3 Diseño Detallado

En el presente apartado se describe el diseño para cada uno de los elementos que componen al sistema de nefelometría, acústico, eléctrico y electrónico, análisis y procesamiento, y mecánico, de acuerdo con la ruta crítica definida en la matriz morfológica.

3.1 Sistema de nefelometría

En la Figura 23 se muestra un diagrama general de las partes que conformarán al sistema de nefelometría y que se explicarán a detalle en este capítulo.

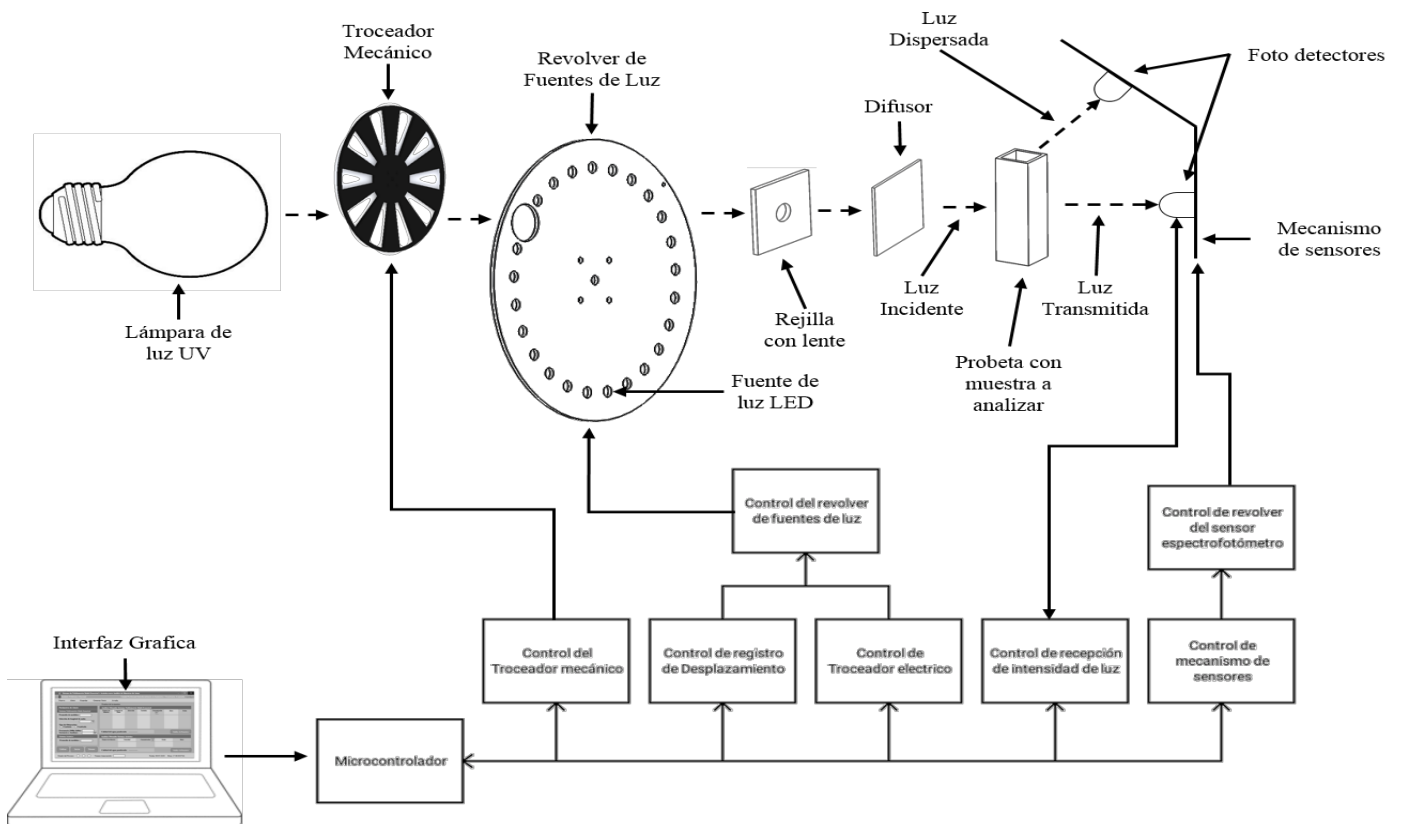

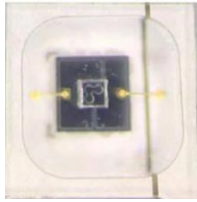
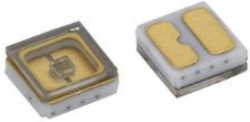



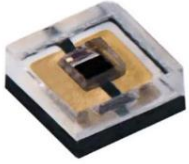

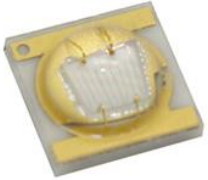
Figura 23. Partes del Sistema de nefelometría.



3.1.1 Componentes electrónicos

3.1.1.1 Fuentes de emisión de luz UV

Tabla 23. Fuentes de luz del espectro UV.

Nombre del elemento	Características	Figura del dispositivo
<p>Lámpara Germicida – UV 255nm [50]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: 702.15 - Voltaje: 120V - Potencia: 15W - Tipo: Compacto Germicida - Longitud del bulbo: 7.25 in - Base: E26 (base tornillo estandar) - Horas de vida: 7000 - Luz ultravioleta de onda corta, con vidrio de cuarzo 	 <p><i>Figura 24. Lámpara germicida – UV. [50]</i></p>
<p>Led UV SMD 265nm – 285 nm [51]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$609.44 - Longitud de onda: 265nm – 285nm - UVC Led - Paquete: 1414 (3535 metric) - Angulo de visualización: 130° - Transparencia del lente claro - Corriente directa: 15mA - Tensión directa: 9V - Temperatura de trabajo: -40° C a 85° C 	 <p><i>Figura 25. Led SMD UV de 265 - 285 nm. [48]</i></p>
<p>Led UV SMD 278 nm [52]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$1277.40 - Longitud de onda: 278nm - Led UVC de alta energía de un solo color - Flujo Luminoso: 12mW - Componentes: AlGaN - Corriente directa: 100mA - Tensión directa: 5V - Temperatura de trabajo: -40° C – 80° C - Angulo de visualización: 120° 	 <p><i>Figura 26. Led SMD UV de 278 nm. [49]</i></p>

<p>Led UV SMD 275 nm – 286nm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$1285.09 - Led de alta energía - Flujo luminoso: 35mW - Corriente directa: 350mA - Tensión directa: 6.45V - Régimen de Potencia: 45mW - Temperatura de trabajo: 100° C - Angulo de visualización: 60° 	 <p><i>Figura 27. Led SMD UV de 275nm - 286nm.</i></p>
<p>Led UV SMD 280 nm – 286nm [53]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$138.85 - Led de alta energía - Flujo luminoso: 2mW - Corriente directa: 20mA - Tensión directa: 5.2V - Régimen de Potencia: 2.6mW - Temperatura de trabajo: 65° C - Angulo de visualización: 130° 	 <p><i>Figura 28. Led SMD UV de 280nm - 286nm.</i></p>
<p>Led UV SMD 365nm - 370nm. [54]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$431.17 - Longitud de onda: 365nm - 370nm - Led de alta energía - Paquete: 1717 (4444 metric) - Corriente directa: 700mA - Tensión directa: 3.8V - Temperatura de trabajo: -40° C - 115° C - Angulo de visualización: 70 grados 	 <p><i>Figura 29. Led SMD UV de 365nm – 370nm. [51]</i></p>
<p>Led SMD UV 1W 375- 380 nm / 3535 [55]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$28.00 - Angulo de visión: 120 deg - Material del Led: GaN 375nm-380nm - Dimensiones: 3.45mm x 3.45mm x 1.95 mm - Compatible con soldadura sin plomo - Temperatura de trabajo= -40° C a 100° C - Corriente Nominal: 700mA - Tensión de entrada: 5V 	 <p><i>Figura 30. LED SMD Ultravioleta. [55]</i></p>

<p>Led UV 1W 375- 380 nm / 3535 [56]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$60.00 - Angulo de visión: 120 deg - Encapsulado Transparente - Sin base para disipar calor - Compatible con soldadura sin plomo - Temperatura de trabajo= -30° C a 60° C - Temperatura de soldadura sin plomo: 260° C mínimo 5 seg - Corriente Nominal: 250mA - Tensión de entrada: 4V - Consumo 1W 	 <p><i>Figura 31. Led de Potencia UV de 375nm - 380nm [56]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Ultravioleta Longitud de onda 400nm. [57]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$5.00 - Led DIP 5mm - Longitud de onda: 400nm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 4.5V - Consumo: 60mW 	 <p><i>Figura 32. Led DIP 5mm Ultravioleta cercano. [57]</i></p>

Dado a que en las especificaciones de la Lámpara Germicida UV no se encuentran reportadas las longitudes de onda a las que esta emite, se procedió a medir su longitud de onda con un espectrofotómetro de laboratorio. La respuesta que se obtuvo se muestra en la Figura 33, en donde la gráfica obtenida muestra la longitud de onda contra la intensidad luminosa y se observa que el mayor brillo de la lámpara se concentra en los 255nm.

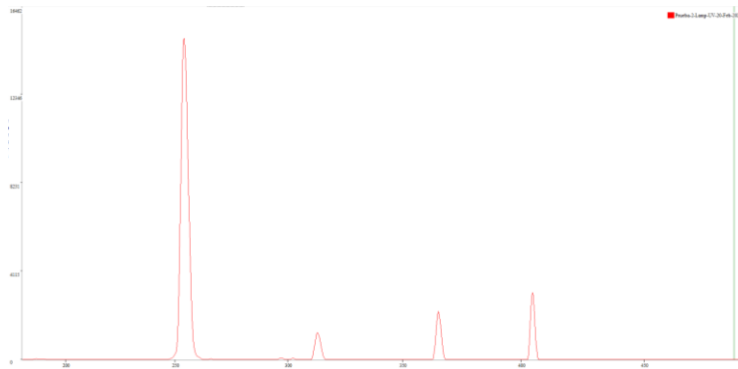










Figura 33. Espectro de la lámpara medida con el espectrofotómetro.

3.1.1.2 Fuentes de emisión de luz VIS





Tabla 24. Fuentes de luz del espectro VIS.


Nombre del elemento	Características	Figura del dispositivo
<p>Led DIP 5mm Violeta Estándar [58]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3 - Longitud de onda: 380nm-420nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 3.4V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 34. Led DIP 5mm VIS de 380nm – 420nm. [58].</i></p>
<p>Led DIP 5mm Rosa Brillante [59]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3 - Longitud de onda: 420nm-440nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 3.2V - Consumo: 64mW 	 <p><i>Figura 35. Led DIP 5mm VIS de 420nm-440nm. [59]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Naranja Estándar [60]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3 - Longitud de onda: 600nm – 650nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 2.2V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 36. Led DIP 5mm VIS de 600nm-650nm. [60]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Amarillo Estándar [61]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3 - Longitud de onda: 550nm – 600nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 2.2V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 37. Led DIP 5mm VIS de 550nm - 600nm [61]</i></p>

<p>Led DIP 5mm Azul Estándar [62]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$2 - Longitud de onda: 450nm – 500nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 3.4V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 38. Led DIP 5mm VIS de 450nm - 500nm [62]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Verde Estándar [63]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$2 - Longitud de onda: 490nm – 540nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 2.2V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 39. Led DIP 5mm VIS de 490nm - 540nm. [63]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Rojo Estándar [64]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$2 - Longitud de onda: 600nm – 650nm - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 2.2V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 40. Led DIP 5mm VIS de 600nm – 650nm. [64]</i></p>
<p>Led DIP 5mm Blanco Puro Estándar [65]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3 - Longitud de onda: 5000 – 10000 K - Led DIP 5mm - Angulo de apertura: 15° a 30° - Encapsulado transparente y difuso - Temperatura de operación: -40° a 70° C - Corriente Nominal: 20mA - Tensión de operación máximo: 3.4V - Consumo: 40mW 	 <p><i>Figura 41. Led DIP 5mm VIS Blanco Puro. [65]</i></p>

3.1.1.3 Fuentes de emisión de luz IR

Tabla 25. Fuentes de luz del espectro IR.

Nombre del elemento	Características	Figura del dispositivo
<p>Led Infrarrojo SMD 850nm [66]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$163.70 - Longitud de onda: 850nm - Mayor potencia de salida - Angulo de Haz: 95° x 58° - Corriente directa: 1000mA - Tensión directa: 3.2V - Régimen de potencia: 1.35W - Temperatura de trabajo: -40° C a 125° C 	 <p><i>Figura 42. Led Infrarrojo de 875nm. [66]</i></p>
<p>Led Infrarrojo 25 Grados 875nm [67]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$24.00 - Longitud de onda: 875nm - Mayor potencia de salida - Corriente: 150mA - Temperatura de trabajo: -14° C a 100° C 	 <p><i>Figura 43. Led Infrarrojo de 875nm. [67]</i></p>
<p>Led Infrarrojo SMD 880nm [68]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$17.53 - Longitud de onda: 880nm - Angulo de visualización: 120° - Corriente directa: 20mA - Tensión directa: 1.3V - Temperatura de trabajo: -40° C a 85° C 	 <p><i>Figura 44. Led Infrarrojo de 875nm. [68]</i></p>
<p>Led Infrarrojo 20 Grados 940nm [69]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$5.00 - Longitud de onda: 940nm - Alta intensidad radiante - 2.54mm de separación de plomo - Baja tensión directa - Material del Led: GaAlAs - Corriente: 100mA - Temperatura de trabajo ideal: 25° C 	 <p><i>Figura 45. Led Infrarrojo de 940 nm. [69]</i></p>


<p>Led Infrarrojo Galio Arsénico 950nm [70]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$86.50 - Longitud de onda: 950nm - Salida de alta potencia - Material del Led: GaAs - Tamaño Pequeño - Corriente: 50mA - Temperatura de trabajo: -25° C a 85° C 	 <p><i>Figura 46. Diodo Led Infrarrojo 950nm. [70]</i></p>
--	---	---

3.1.1.4 Sensores ópticos

De acuerdo con la selección ponderada de materiales, los sensores ópticos que se seleccionaron para incluirlos en el sistema se presentan a continuación, con la descripción específica de cada dispositivo.


- **SparkFun Triad Spectroscopy Sensor – AS7265x (Qwiic)**

Este sensor es capaz de caracterizar la absorción y reflexión de diferentes materiales a distintas longitudes de onda. Este espectrofotómetro posee tres sensores AS7262, AS72652 y AS72653. [71]

 <p><i>Figura 47. Espectrofotómetro SparkFun AS7265x. [71]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$1263.30 - Interfaz seleccionable, I²C o Serie (115200bps) - 18 frecuencias de detección de luz de 410nm a 940nm - $28.6 \frac{nW}{cm^2}$ por conteo - Precisión de $\pm 12\%$ - Led integrado de 405 nm UV cercano - Led integrado 5700 l blanco - Led integrado de 875nm IR - Pines para bombilla externa con control de iluminación - Programado con el ultimo firmware de AMS - Tensión de alimentación: 3.3V
---	---


- **Sensor Ultravioleta (UV) – UVM30A**

Este sensor es capaz de detectar la radiación UV, usando un chip UVM-30A. Se puede configurar fácilmente para monitorear UV. [72]


 <p><i>Figura 48. Sensor UV. UVM30A. [72]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$350.00 - Chip: UVM-30A - Tensión de funcionamiento: 3.3-5 V - Tensión de salida: 1200 mV - Precisión de $\pm INDICE 1UV$ - Corriente estándar: 0.06mA - Lectura de longitud de onda: De 200nm a 370nm - Tiempo de respuesta: $t < 0.5s$ - Temperatura de trabajo: $-20^{\circ} C$ a $85^{\circ} C$
--	---

3.1.1.5 Motores, drivers y anillo de conectores

- **Motor CD para obturador mecánico (Motorreductor de metal micro 5:1 HPCB 12V con eje de motor extendido) [73]**


 <p><i>Figura 49. Motorreductor 5:1. [73]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$450.00 - Marca: Pololu - Motorreductor de CD - Escobillas de carbón de larga duración - Caja de engranes de metal 4.995:1 - Sección transversal de 10mm x 12mm - Salida de la caja en forma de D de 3mm de diámetro - Tensión máxima: 12V - Rendimiento sin carga: 6800 RPM, 60mA - Extrapolación de puesto: 0.09 kg·cm (1.3 oz·in), 0.75^a
--	--

- **Puente H, para Motor CD (L293D) [74]**

 <p><i>Figura 50. Puente H para Motor CD. [74]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$76.72 - Corriente de salida por canal: 1 A - Pico de corriente máxima: 2 A - Alta inmunidad al ruido - Suministro lógico separado - Protección contra sobre calentamiento - Tensión de alimentación máxima para el motor: 36V - Temperatura de trabajo: $-40^{\circ} C$ a $150^{\circ} C$ - Tensión de suministro lógico: 4.5V a 36V
---	--


- **Motor a pasos para control de posición NEMA 17**

Este motor a pasos es híbrido debido a que posee configuración unipolar y bipolar, con un ángulo de paso de 1.8° que hacen 200 pasos por revolución. El motor tiene seis cables codificados por colores terminados con cables desnudos. [75]

 <p><i>Figura 51. Motor a pasos, bipolar NEMA 17. [75]</i></p>	<ul style="list-style-type: none">- Precio: \$480.28- Marca: Pololu- Motor a pasos Unipolar o Bipolar de 200 pasos por revolución (6 cables)- Angulo de paso: 1.8°- Tensión nominal: 4V- Corriente nominal: 1.2A- Par de Retención: 3.2 kg-cm- Peso: 350g- Diámetro del eje: 5mm en D- Inductancia por bobina: 2.8mH- Resistencia: 3.3Ω por bobina
---	--


- **Controlador Driver de Motor a pasos (EasyDriver)**

Este es un controlador de motor a pasos, fácil de usar, compatible con cualquier circuito que pueda emitir un pulso digital. La placa requiere un suministro de tensión de 6V a 30V para alimentar al motor, cuenta con un regulador de tensión integrado para la interfaz digital que se puede configurar en 5V o 3.3V. Los pines de selección de micro paso están separados permitiendo ajustes en la resolución del paso. [76]

 <p><i>Figura 52. Micro Servomotor Tower Pro SG90. [76]</i></p>	<ul style="list-style-type: none">- Precio: \$359.91- Marca: Sparkfun- Controlador de micro paso A3967- Pines para cambiar la resolución de micro paso- Control de corriente ajustable de 150mA a 700mA por fase- Rango de fuente de alimentación de 6V a 30V
--	--


- **Servomotor de posición para el sensor espectrofotómetro (Micro Servomotor Tower Pro SG90)**

El servo SG90 de Tower Pro de gran calidad y diminutas dimensiones. Al igual que con otros servos funciona con la mayoría de tarjetas electrónicas de control con microcontroladores, así como con la mayoría de los sistemas de RC comerciales. [77]

 <p>Figura 53. Micro Servomotor Tower Pro SG90. [77]</p>	<ul style="list-style-type: none">- Precio: \$70.00- Capacidad de rotación: 180° aprox.- Velocidad: 0.10 sec/60° @ 4.8V- Torque: 1.8 Kg-cm @ 4.8V- Tensión de funcionamiento: 3.0-7.2V- Temperatura de funcionamiento: -30 °C ~ 60 °C- Ángulo de rotación: 180°- Ancho de pulso: 500-2400 μs- Longitud de cable de conector: 24.5cm
---	---

- **Anillo conector de 6 hilos GB20-026**


Este anillo conector de 6 hilos es un elemento electromecánico que permite que las señales electrónicas pases a través de un mecanismo de giro. Este es capaz de dar rotaciones continuas de 360° manteniendo la conexión eléctrica. Este anillo deslizante proporciona un cuerpo compacto con cepillo de fibra de aleación de oro para contactos de anillos chapados en el interior. [78]

 <p>Figura 54. Anillo Conector de 6 Hilos [78]</p>	<ul style="list-style-type: none">- Precio: \$440.91- 6 cables- Tensión máxima: 210 Vcd / 240 Vac- Corriente máxima: 2 A- Velocidad de funcionamiento: 250 rpm- Torque: 0.06 Nm- Compatible con protocolos de bus de datos- Transfiere señales analógicas y digitales- 22 mm de diámetro x 19.5 mm de longitud con brida de 44.5mm de diámetro- Temperatura de trabajo: -40° C a 80° C
---	---

3.1.1.6 Obturador eléctrico


- **LM555CMX/NOPB**

El LM555 es un dispositivo altamente estable para generar datos precisos, demoras u oscilaciones de tiempo. La frecuencia de funcionamiento libre y el ciclo de trabajo son precisos controlado con dos resistencias externas y un condensador. [79]

 <p><i>Figura 55. LM555 de SMD [79]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$32.72 - Lógica: TTL - Tiempo desde microsegundos hasta horas - Funciona en modo astable y monoastable - Ciclo de trabajo ajustable - Salida de 200mA - Estabilidad de temperatura mejor que 0.005% por cada ° C - Disponible en paquete MSOP de 8 pines - Tensión de suministro: Mínimo 4.5V - Temperatura de operación: 0°C a 70° C - Soldar 10 segundos a 260° C
--	--

- **Potenciómetro Digital (AD5206BRUZ100)**

El AD5204 proporciona 6 canales de 256 posiciones, son dispositivos de resistencia variable controlados digitalmente. Estos dispositivos realizan la misma función de ajuste electrónico que un potenciómetro o resistencia variable. Cada valor de la resistencia fija se encuentra en un punto determinado, por un código digital, cargado en el registro de entrada en serie compatible con SPI. [80]

 <p><i>Figura 56. AD5206BRUZ100 Potenciómetro Digital.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$157.00 - Resistencia de los canales: 100kOhms - Comunicación SPI - 256 posiciones por canal - Múltiples canales programables independientes - Operación de suministro de 2.7 V a 5.5V - Temperatura de Operación: 25° C
---	---

3.1.1.7 Electrónica y acondicionamiento de señal

- **Registro de Desplazamiento (74HC595) [81]**

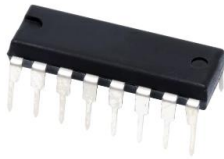


Figura 57. Integrado de Registro de Desplazamiento 74HC595 [81]

- Precio: \$17.79
- Fabricante: Texas Instruments
- Numero de bits: 8 bits
- Familia Lógica: 74HC
- Tipo de salida: Tri-estado
- Tiempo de retardo de propagación: 200ns, 40ns, 34ns
- Tensión de alimentación máxima: 6V
- Temperatura de trabajo: -40° C a 85° C
- Baja corriente de entrada: 1uA

- **Compuerta Lógica AND (SN74LS08N) [82]**



Figura 58. Compuerta Lógica AND [82]

- Precio: \$32.00
- Tensión de alimentación máxima: 5.25V
- Temperatura de trabajo: 0° C a 70° C
- Corriente de salida alta: -0.4mA
- Corriente de salida baja: 8mA
- 4 compuertas por integrado

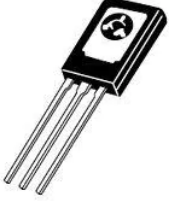
- **Transistor SMD UM2222 [83]**




Figura 59. Transistor NPN de SMD [83]

- Precio: \$7.88
- Transistor Bipolar NPN
- Máxima tensión en colector - emisor: 40V
- Tensión colector – base: 75V
- Tensión emisor – base : 6V
- Tensión de saturación colector - emisor: 0.3V
- Corriente máxima del colector: 600mA
- Disipación de potencia: 200mW
- Ancho de banda: 300MHz
- Temperatura de trabajo máxima: 150° C
- Máxima ganancia hFE: 300


• **Transistor BD137G [84]**

 <p><i>Figura 60. Transistor NPN [84]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$16.97 - Transistor Bipolar NPN - Máxima tensión en colector - emisor: 60V - Tensión colector – base: 60V - Tensión emisor – base: 5V - Tensión de saturación colector – emisor: 0.5V - Corriente máxima de colector: 1.5A - Disipación de potencia: 1.25W - Temperatura de trabajo: -55° C a 150° C - Máxima ganancia hFE: 250
--	---

• **Amplificador Operacional OpAmps (TL084) [85]**

 <p><i>Figura 61. Amplificador Operacional OpAmp [85]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$17.17 - Número de canales: 4 Canales - Tensión de alimentación: 36V - GBP, Amplificador de ancho de banda: 3MHz - Velocidad de precesión: 13 V/us - Tensión offset de entrada: 6mV - Tensión de alimentación mínima: 7V - Temperatura de trabajo: -40° C a 125° C - Corriente de suministro operativa: 1.4mA - Proporción de rechazo en modo común: 70dB a 86dB - Amplificador de propósito general - Marca: Texas Instruments - Tensión de alimentación doble: +/- 3.5 a +/- 18V - dB de ganancia de tensión: 106.02dB
---	--

• **MOC3023 [86]**

 <p><i>Figura 62. MOC3023 [86]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$22.79 - Tipo de salida: FotoTriac - Número de canales: 1 canal - Tensión de aislamiento: 5300 Vrms - Corriente directa: 60mA - Tensión directa: 1.15V - Disipación de potencia: 330mW - Tensión de salida no activado: 400V - Temperatura de trabajo: -40° C a 85° C - Corriente de disparado máximo: 5mA
---	--

- **TRIAC (TIC226D) [87]**



Figura 63. TIC226D [87]

- Precio: \$20.68
- 8 A RMS a 70 A
- 400 V a 800V en tensión de estado apagado
- Máxima corriente en gate; 50mA
- Temperatura de trabajo: -40° C a 110° C

- **Interruptor Óptico (Fototransistor TCST2103) [88]**

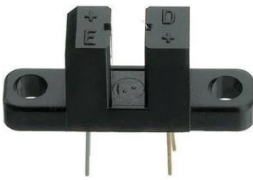


Figura 64. TCST2103,
Fototransistor [88]

- Precio: \$20.68
- Ancho de herradura: 3.1mm
- Ancho de apertura: 1mm
- Máxima tensión en colector: 70V
- Corriente máxima de colector 100mA
- Corriente directa. 60mA
- Temperatura de trabajo: -55° C a 85° C
- Método de detección: transmisivo o ranurado
- Longitud de onda: 950nm
- Número de canales: 1 canal
- Disipación de potencia: 250 mW
- Tensión Inversa: 6V

- **Opto acoplador (PC817) [89]**



Figura 65. Opto acoplador
PC817 [89]

- Precio: \$19.14
- Opto acoplador de salida de transistor
- Número de canales: 1 canal
- Corriente directa: 20mA
- Máxima tensión colector –emisor: 80V
- Corriente máxima de colector: 50mA
- Tensión de aislamiento: 5000 Vrms
- Máxima tensión de saturación colector – emisor: 0.2V
- Tensión directa: 1.2V
- Tensión inversa: 6V
- Disipación de potencia: 200mW
- Temperatura de trabajo: -30° C a 100° C
- Tiempo de caída y subida: 3us – 4us

3.1.2 Sistema óptico

3.1.2.1 Disco troceador

El disco troceador se manufacturará utilizando un buril rotatorio que se encontrará en el portaherramientas de una CNC, ya que el material que se utilizará para la fabricación del disco troceador es fibra de vidrio. Una vez que la CNC termine el proceso de maquinado de la pieza, se procederá a pintarlo con pintura en aerosol negro mate.

El disco que se fabricará sigue las medidas del disco troceador modelo 300D10, de la marca SCITEC, que tiene 10 ranuras, con un diámetro exterior de 102mm, como se muestra en la Figura 66. [90]

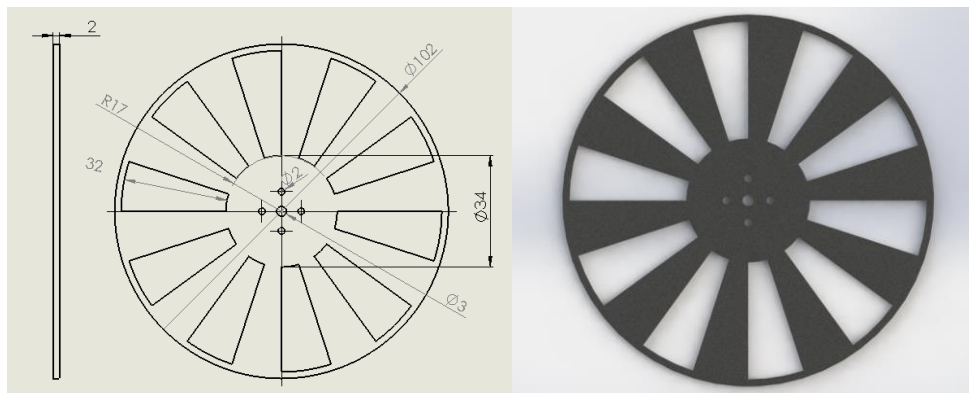



Figura 66. Medidas del disco troceador y Modelo 3D.

3.1.2.2 Lente

- **Lente convexa de cristal de cuarzo [91]**

 <p>Figura 67. Lente convexa de cristal de cuarzo. [91]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$1636.63 - Lente óptica convexa - Diámetro: 10mm - Longitud Focal: 30mm - Modelo: SY-802PT - Apertura: mayor 90% - Material cristal de cuarzo - Grosor del centro: 2.3mm - Grosor del borde: 1.4 mm - Peso: 1gr
--	---

3.1.2.3 Rendija

- **Diafragma perforado**

La rendija estará integrada con la pieza del soporte de la celda de cuarzo y se fabricará utilizando el proceso de impresión en 3D, la rendija está basada en las medidas que presenta el documento (3B Scientific Phisics), donde describen que la rendija es un diafragma de ranura de orificio de 8mm de diámetro. [92] En el caso para el desarrollo de este proyecto las dimensiones del diafragma, se tomarán a conveniencia, de acuerdo a la medida de los soportes. En la Figura 68, se puede apreciar el modelo 3D solo de la rendija.

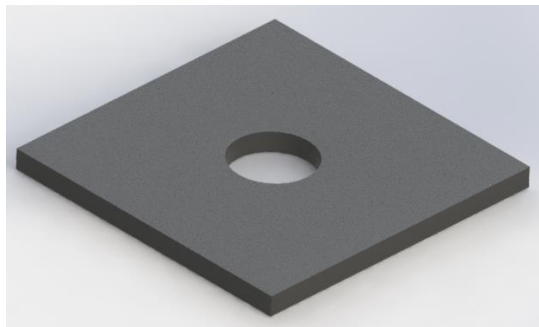


Figura 68. Modelo en 3D de la Rendija.

3.1.2.4 Difusor

El difusor, se fabricará a partir de un portaobjetos de cuarzo, la tarea fundamental de esta pieza es dispersar la luz transmitiendo luz suave y de la misma intensidad en todas direcciones. Al obtener el portaobjetos de cuarzo, este se someterá a un proceso de lijado, con lija de agua de grano extrafino 1500, que son ideales para trabajos de lijado sobre superficies a ser recubiertas en su acabado final [93]. El portaobjetos de cuarzo al final del proceso de lijado, tendrá la ventaja de poder funcionar como un difusor óptico, en la Figura 69 se aprecia el diseño final.

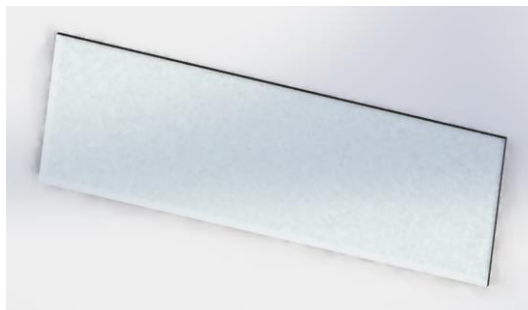


Figura 69. Difusor Óptico.

3.1.2.5 Probeta

- **Cubeta de cuarzo UV [94]**

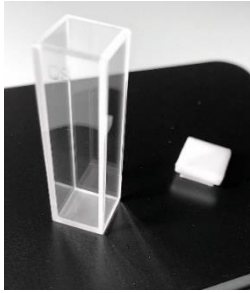


Figura 70. Celda de cuarzo. [94]

- Precio: \$1736.63
- Rango espectral: 190-2500 nm
- Base de ácido, resistente a los disolventes orgánicos
- Resistente al calor (hasta 977° F)
- Cuatro ventanas ópticas
- Tapa PTFE no reactivas
- Capacidad: 3.5ml
- Color: Transparente
- Marca: Alpha Nanotech Inc.
- Error de transmisión de luz: menor a 0.5%
- OD: 0.492 in x 0.492in x 1.772in
- Grosos de la pared: 0.04

3.1.3 Control de Nefelometría

3.1.3.1 Funciones para el control del registro de desplazamiento

Para tener el control del registro de desplazamiento, es esencial conocer el número de fuente de luz que se desea encender, ya que este será la variable principal para que la función “encender led” pueda ejecutarse correctamente, debido a que estaremos enviando pulsos al circuito integrado de registro de desplazamiento.

El funcionamiento consiste en, en especificar un valor entero que será la posición de la fuente de luz. En la Figura 71, se puede apreciar cuál es la posición de cada fuente de luz.

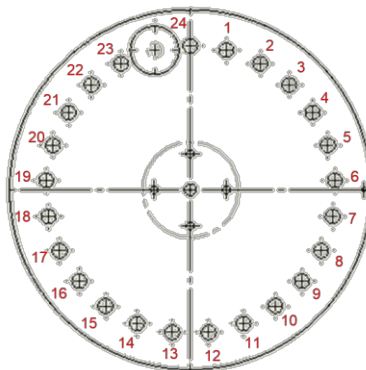


Figura 71. Posición de las fuentes de Luz.

Una vez ingresado la posición del led que se desea encender, se procede a realizar un ciclo que iterará 24 veces, esto es para recorrer el bit hasta llegar al led seleccionado. En el diagrama de flujo de la Figura 72, se puede apreciar que solo en una ocasión la segunda condicional, aplica su valor verdadero, esto se debe a que la instrucción compara cada número de la iteración con el número de fuente que se proporcionó para poderlo encender. Una vez terminadas las 24 iteraciones, una para cada fuente de luz, se procede a enviar un pulso por el pin de RCLK, que su función es habilitar el resultado del corrimiento de bits que realizó el integrado y enviar el bit de encendido a la fuente de luz. Cabe mencionar que la función “encender led” solo permite prender una fuente de luz al momento. Para proceder a apagar la fuente, mientras el motor a pasos cambia de posición, se ejecuta la segunda función, haciendo un barrido por las 24 fuentes de luz, y configurando el pin SER siempre en bajo, para así lograr apagar todas las fuentes que se encuentren encendidas.

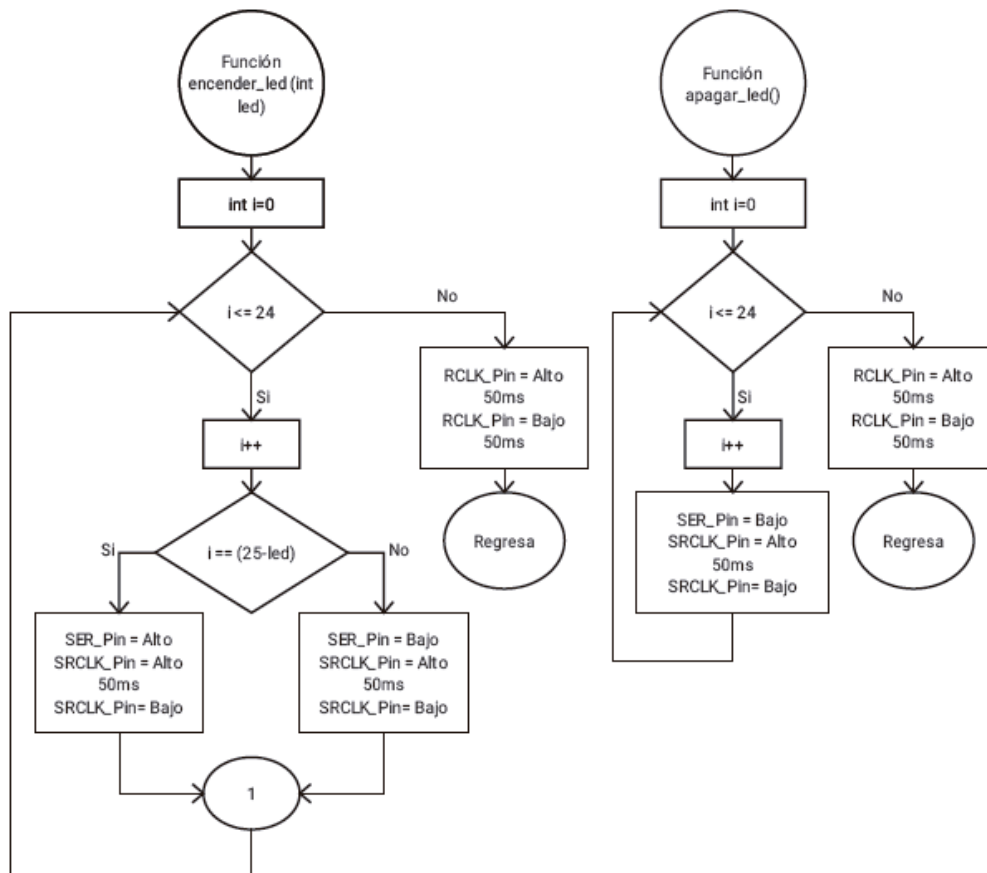


Figura 72. Diagrama de flujo de las funciones para el control del registro de desplazamiento.

3.1.3.2 Funciones para el control del revolver de fuentes de luz

Estas funciones, tendrán la utilidad de posicionar la fuente de luz seleccionada, primeramente, buscando la posición cero pieza del disco revolver y contando los pasos para poder variar la dirección de giro.

En la Figura 71, se puede apreciar el número asignado para cada fuente de luz. Por lo que la variable que se utilizó en la función de registro de desplazamiento para encender una fuente será la misma para posicionar la fuente de luz justo en la ventana óptica.

El funcionamiento de estos módulos de programación consiste en la aplicación de un contador de pasos, que se inicia cuando un fototransistor detecta el cero pieza de la placa, enviando un pulso en alto al microcontrolador para provocar una interrupción dentro del programa. Esta señal de pulso en alto se detecta cuando se ejecuta la función “girar” que hace rotar al disco hasta que pase por la rendija que la placa trae incluida, una vez detectada la posición cero pieza, la interrupción programada en el micro, detiene el motor en ese preciso instante y configura el contador en cero debido a que es la ubicación en donde se encuentra la fuente de luz número uno.

Cando ya se conocer la posición cero en el disco revolver o la posición de la primera fuente de luz, se procede a configurar los pasos en medios pasos configurando los pines del driver. En este punto se inicia el proceso de localización de las posiciones de las demás fuentes de luz con la ayuda del contador anteriormente mencionado. Para llegar a la posición de una fuente específica primero se aplica una ecuación para saber cuántos pasos debe de dar el motor para llegar al led destino e inmediatamente una diferencia para conocer cuantos pasos netos se dará para llegar al destino, esta diferencia ayuda cuando estamos variando las posiciones entre fuentes de luz y se requiere llegar a otro led.

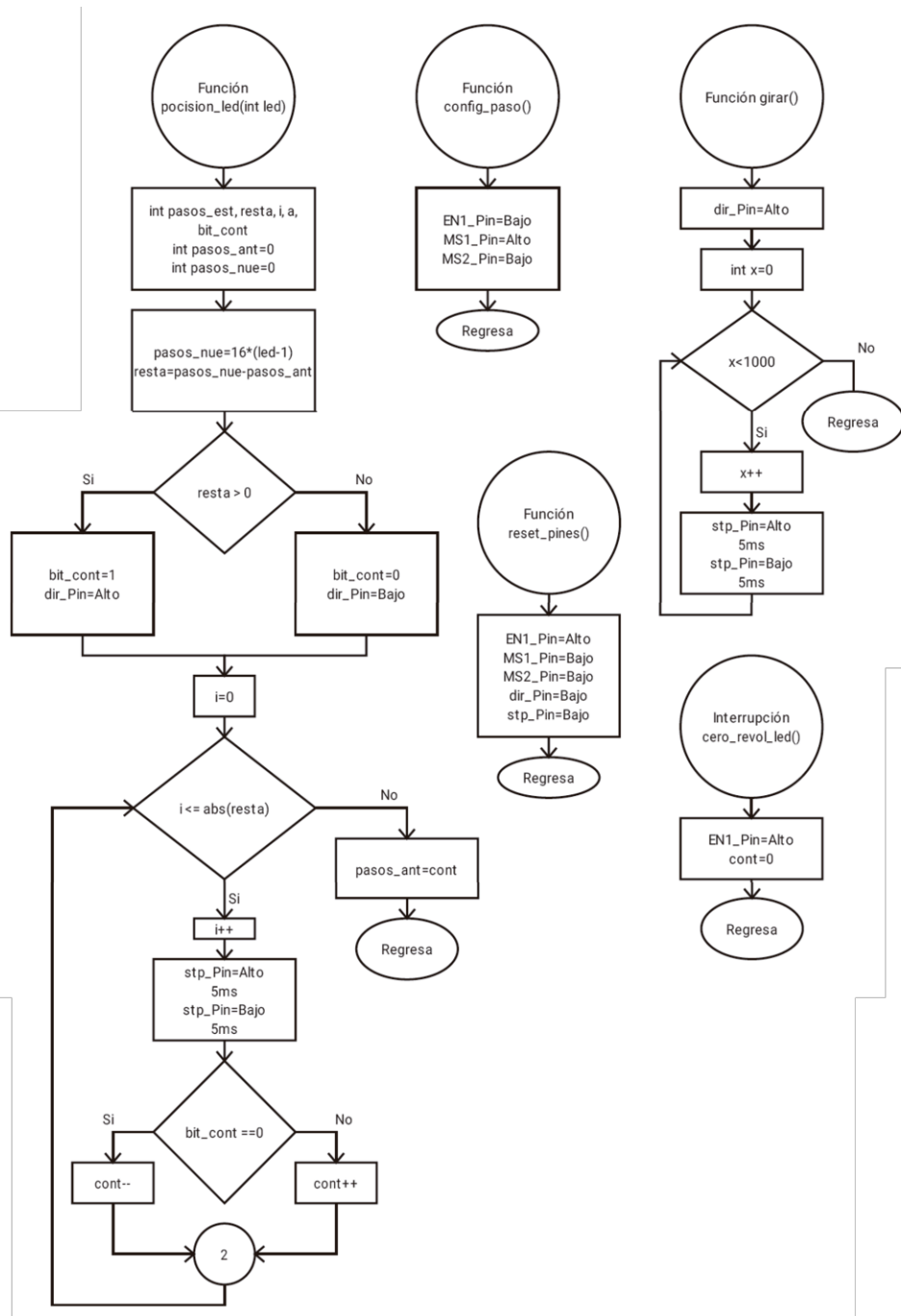


Figura 73. Diagrama de flujo de las funciones para el control de posición del revolver de fuentes de luz.

Con el resultado que muestre la diferencia, se determinará la dirección de giro del revólver. En la Figura 73 se puede observar los diagramas de flujos de las diferentes funciones que se mencionan. Finalmente, la función “reset_pines”, deshabilita el driver controlador de motor a pasos y configura todos sus pines en bajo, para después volverlos a utilizar para algún otro proceso.

3.1.3.3 Funciones para el control del troceador mecánico

El troceador mecánico tiene instrucciones para implementar un control de velocidad de un motor CD en lazo cerrado, la retroalimentación la provoca un fototransistor que se polariza con el haz de luz de un led infrarrojo cada vez que el disco troceador no corta el haz, esto provoca el envío de un pulso en alto al microcontrolador ocasionando una interrupción en la ejecución del programa obteniendo la frecuencia de obturación.

El funcionamiento de estas instrucciones consiste en la implementación de un control PID, declarando primeramente un error entre la frecuencia de referencia y el valor de la frecuencia real medido. Enseguida se aplican las acciones proporcional, integrativa y derivativa para que al finalizar el proceso se puedan sumar y se pueda enviar la señal al motor.

Una vez obtenida la suma del control PID, se evalúa una serie de condicionales que limita la cifra del PWM, para que solo funcione en el rango de 0 a 255. Finalmente se envía el valor calculado del PID al pin de salida del PWM, para mantener el control de velocidad del motor CD. Como notamos el diagrama de la Figura 74, se muestra el PID en una sola iteración, las iteraciones necesarias se realizarán dentro del programa principal “main” dentro de un ciclo “while”, que el programador podrá controlar mientras se realice la medición con la lámpara UV.

Para poder conocer la frecuencia del troceador, se aplican dos interrupciones, una interrupción por flanco de bajada que será enviado por el fototransistor cada vez que se polarice y esto provocará un incremento unitario de la variable contador, la segunda interrupción se habilitará por tiempo, y se configurara a un segundo. Esto significa que cada segundo se ejecutará las instrucciones que se encuentran dentro de la interrupción de tiempo, que consiste en mostrar la frecuencia real de obturación del disco troceador.

Y en la función “variables”, se muestran las variables mínimas para el funcionamiento del PID, cabe mencionar que, si se desea más precisión o un tiempo de estabilización con mejor respuesta, es necesario conocer la función de transferencia del motorreductor a utilizar (la planta), en ocasiones este dato se calcula por métodos experimentales. Es posible cambiar el modo de obtener la frecuencia real de obturación, midiendo con un algoritmo el tiempo entre dos pulsos y aplicando su inversa para obtener la frecuencia, también se debe de sintonizar las ganancias del PID más convenientes, para que el sistema se estabilice y mitigue en lo posible al error.

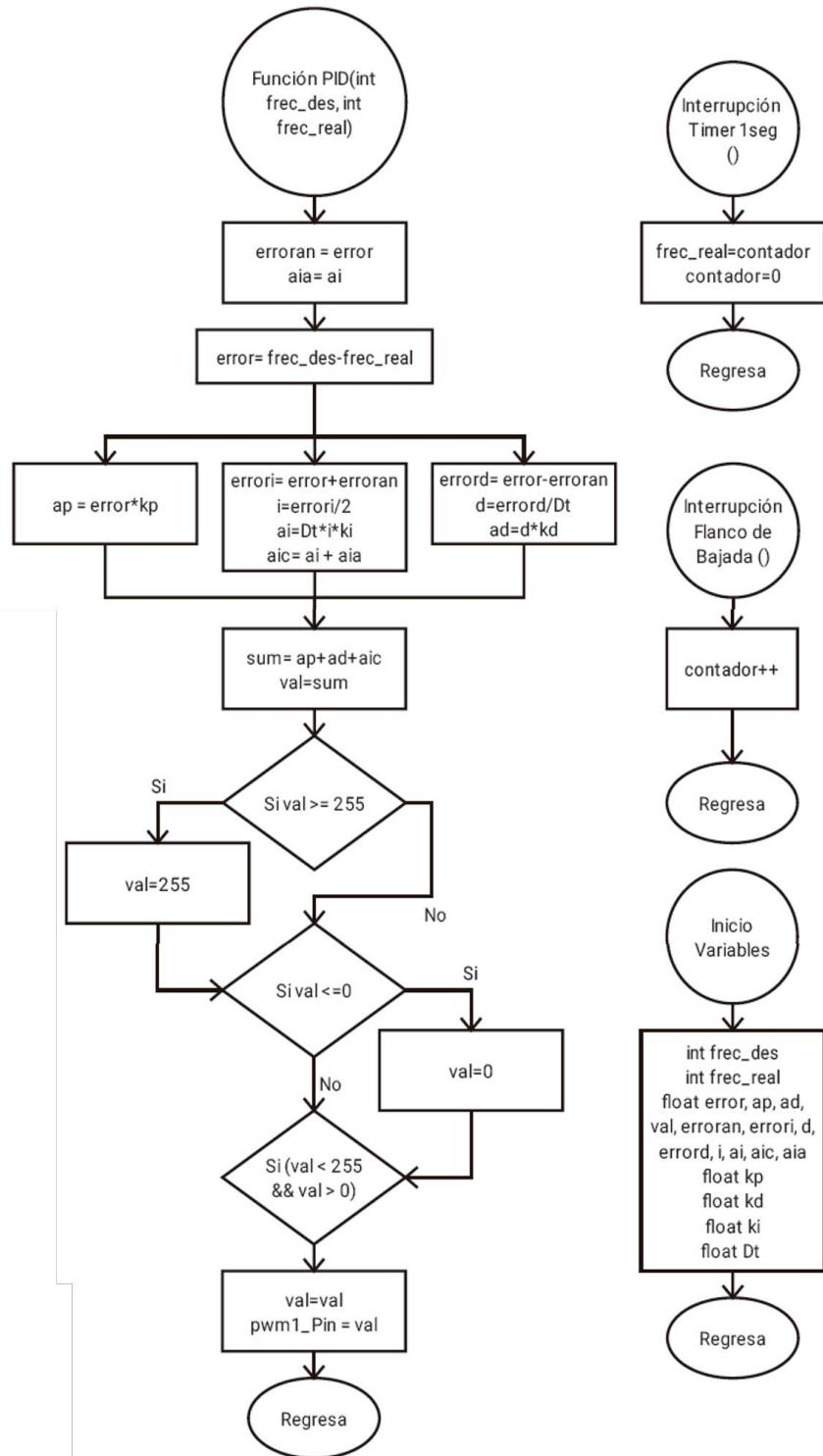


Figura 74. Diagrama de flujo de las funciones de troceador mecánico.

3.1.3.4 Funciones para el control del troceador eléctrico

El propósito de las funciones del control del troceador eléctrico, es poder controlar la frecuencia de la señal cuadrada de obturación, generada por un 555.

El funcionamiento de estas funciones, escriben registros en los potenciómetros digitales para poder variar su frecuencia, desafortunadamente los potenciómetros tienen una baja resolución, porque tienen 100k ohms divididos en 256 bits, entonces la resistencia por bit es de 390.625 ohms, esto provoca que no se logre llegar a todas las frecuencias deseadas y exista un error entre la frecuencia requerida y la frecuencia real que el circuito troceador eléctrico puede proporcionar.

La función “selec_sen” que se aprecia en la Figura 75, en donde se elige el tipo de señal que se implementara, ya sea una señal cuadrada con una frecuencia dada, o bien una señal CD de corriente directa. Para poder seleccionar esto en la función introducimos el tipo de señal y la frecuencia que requiera. Ejemplo:

Para seleccionar una señal cuadrada de 50Hz, la función es “selec_sen (0,50)”. Si se opta por esta opción, el pin que polariza al transistor del 555 se queda en bajo, y se implementa otra función que calcula la resistencia para aproximar a la frecuencia que se le dio, la función “resistencia” regresa el valor de la resistencia que se introducirá al registro del potenciómetro digital, calcula también la frecuencia real a la que puede llegar el troceador eléctrico y el error entre la frecuencia dada por el usuario y la frecuencia real a la que puede llegar. Enseguida ya conociendo la resistencia ese valor se envía a dos canales del potenciómetro digital, en la Figura 103, apreciamos que se requiere configurar las dos resistencias del 555 iguales para hacer una señal de pulso con el 50% del ciclo de trabajo.

Para seleccionar una señal de CD, la función es “selec_sen (1,0)”. Si se opta por esta opción únicamente se envía un pulso en alto por el pin que polariza al transistor del 555 y en automático a la salida obtendremos una señal de CD.

La función “envio_pot”, especifica el canal del potenciómetro que se desea escribir y el registro del valor del potenciómetro, estos datos se transfieren al integrado por protocolo SPI, habilitando el pin esclavo al que esta designado.

La función Variables, presenta cuales son las variables mínimas requeridas para que las funciones del troceador eléctrico puedan funcionar.

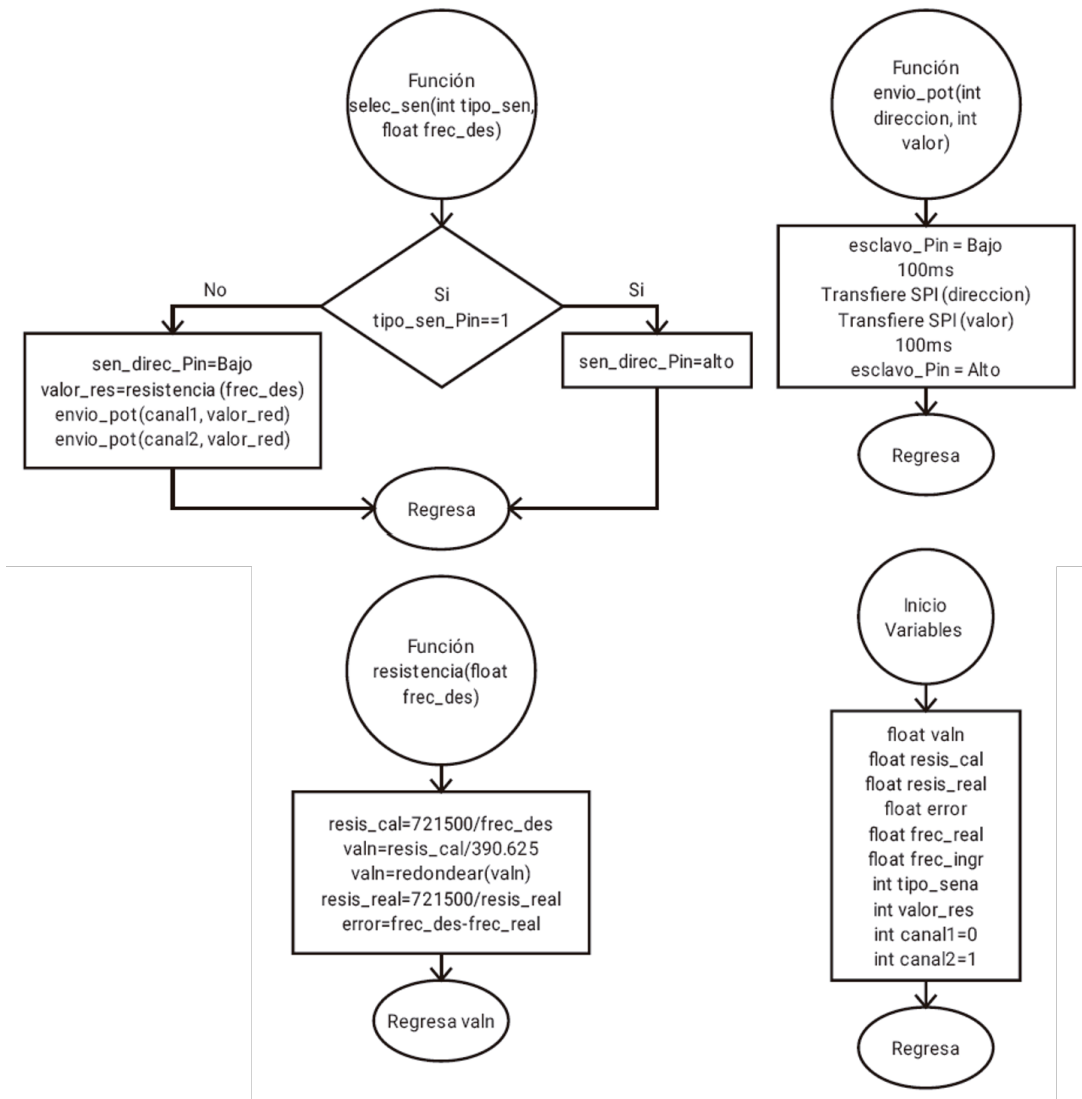


Figura 75. Diagrama de flujo de las funciones para el control de troceador eléctrico.

3.1.3.5 Funciones para el control del revolver del sensor espectrofotómetro

El propósito de las funciones del revolver del sensor espectrofotómetro, consiste en la implementación del control de dos servomotores que posicionaran los fotodiodos en ángulos específicos, para entender las instrucciones que ejecuta las diferentes funciones. Es necesario conocer las posiciones de los fotodiodos que tiene el sensor espectrofotómetro AS7265x Triad, que se muestra en la Figura 76.

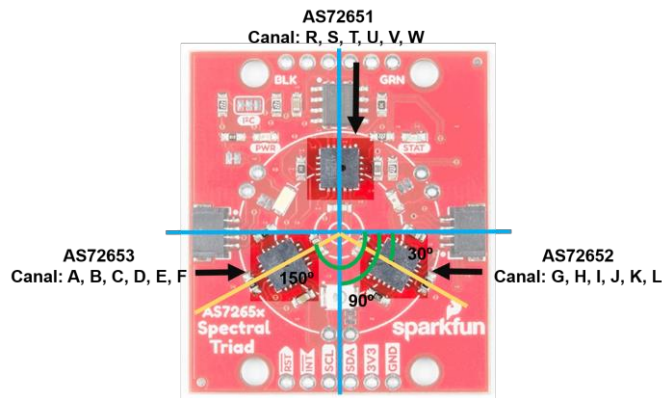


Figura 76. Posición de los fotodiodos en el espectrofotómetro.

Cada fotodiodo tiene seis canales que representan seis diferentes longitudes de onda y cada uno muestra una lectura distinta de intensidad luminosa. En la Figura 77 se muestra un diagrama, con las diferentes longitudes de onda que representa cada canal del sensor.

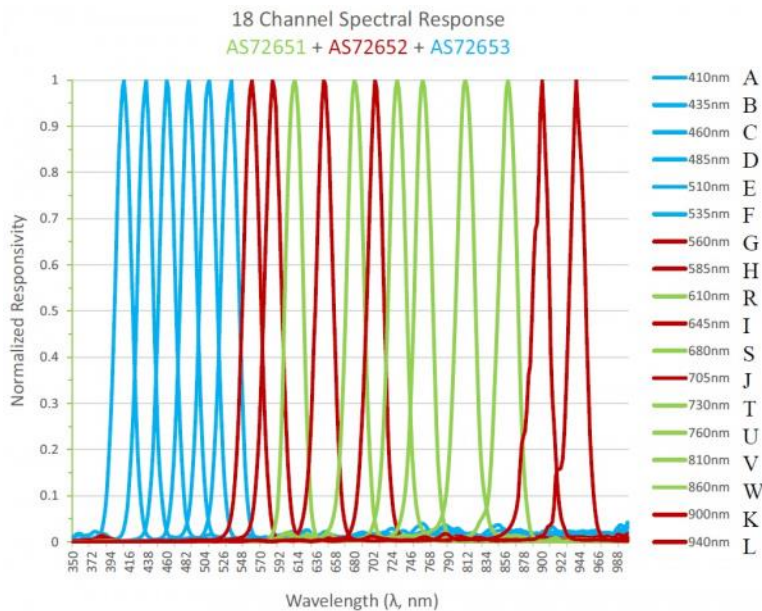


Figura 77. Longitudes de onda de cada canal del espectrofotómetro

Es importante conocer primero cuántos canales tienen el sensor y las longitudes de onda que representa cada canal, ya que cada fuente de luz en el espectro visible, infrarrojo y UV cercano, poseen una longitud de onda distinta, con un espectrofotómetro de laboratorio se puede conocer cuál es la longitud de onda específica de cada fuente. Una vez teniendo el dato de cuál es la longitud de onda de cada fuente de luz, se configura en el software de comunicación a cada fuente de luz para que tenga un canal definido de lectura, este canal es el que nos brindará mayor información acerca de la intensidad luminosa de dicha fuente.

El funcionamiento de estas instrucciones comienza por la función “selec_canal”, en donde especificamos cuál es el canal que queremos que se posiciones en la ventana óptica. Este dato es una letra debido a que, el sensor espectrofotómetro ya tiene los nombres de cada canal por letra. Enseguida una condicional determina la posición en ángulos según la letra elegida, la posición seleccionada será para guía para mover a los servomotores, debido a que una hace la lectura a 0° que realiza la turbidimetría y el otro realiza la lectura a 90° que realiza la nefelometría.

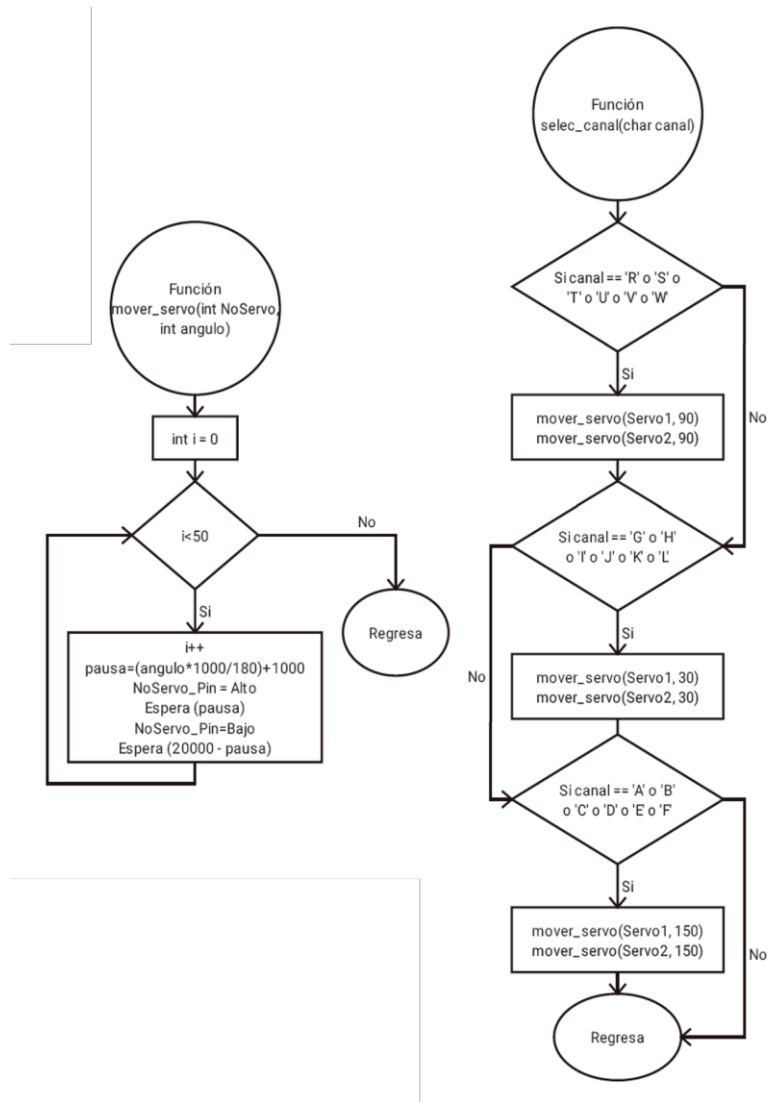


Figura 78. Diagrama de flujo de las funciones para el control del revolver del sensor espectrofotómetro.

Como se aprecia en el diagrama de flujo, la función “selec_canal”, manda a llamar en varias ocasiones a la función “mover_servo”, esta función es la encargada de generar la modulación por ancho de pulso específica para llegar al ángulo especificado. Para que el servomotor pueda moverse, necesita una señal de pulsos con un ciclo de trabajo modulado con una frecuencia de 50Hz. Entonces el diagrama presenta los cálculos necesarios, para calcular el

tiempo del pulso en alto y el tiempo del pulso en bajo, repitiéndolo 50 veces para llegar a la frecuencia requerida y lograr el movimiento de las hélices de los servomotores a donde se desea.

3.1.3.6 Funciones para el control del mecanismo de sensores

El propósito del diseño de las funciones para el control del mecanismo de sensores es posicionar los fotodiodos de los diferentes sensores en la ventana óptica. Para comprender esta sección es vital conocer cuáles son las posiciones que se consideraron y las distancias entre los sensores ópticos. Estas medidas se observan en la Figura 79.

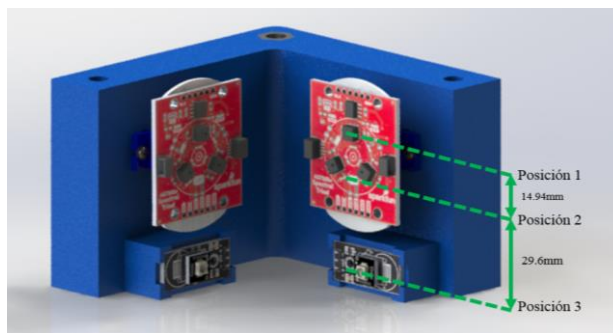


Figura 79. Posición de los sensores ópticos.

Tenemos que en la Posición 1 se encuentra el fotodiodo AS72651, en la Posición 2 y con ayuda del movimiento de los servomotores tenemos los fotodiodos AS72652 y AS72653, y en la Posición 3 tenemos el fotodiodo de lectura UV. Ahora se conoce que la distancia entre el cero pieza y la ventana óptica es de 57mm, la distancia entre el cero pieza y la Posición 1 es de 52.8mm y el tornillo transmisor de movimiento es un M8, que representa 8mm/rev. Podemos calcular los pasos necesarios para que el motor a pasos pueda llegar a las tres posiciones mostradas anteriormente.

El funcionamiento de este control, primero se basa en encontrar el cero pieza aplicando la función “girar” de la Figura 80, que hace rotar al motor en dirección descendente oprimiendo un switch en configuración pull-up que dispara un estado alto al microcontrolador, aquí es donde se localiza la posición cero pieza. Este pulso en alto provoca una interrupción dentro del micro, que detiene inmediatamente el giro del motor y configura el contador de pasos a cero. Aquí es donde comienza la implementación de la función “posición_sensor”, que consiste en ingresar la posición del sensor a la que se desea llegar. La función evalúa el caso y le asigna el número de pasos que requiere el motor para llegar a esa posición, cabe mencionar que la configuración del driver está configurada a medios pasos, esto para obtener mayor precisión en la ventana óptica. Una vez conocido el número de pasos para llegar al destino, se aplica una resta para saber la dirección de giro, esto funciona cuando queremos cambiar de una posición a otra, y enseguida con ayuda de un contador, contamos los pasos

para que el motor comience a girar e igualamos el valor anterior con el valor que contenga la variable contador en ese momento. En la Figura 80 se pueden ver los diferentes diagramas de flujo de las distintas funciones de control del motor a pasos.

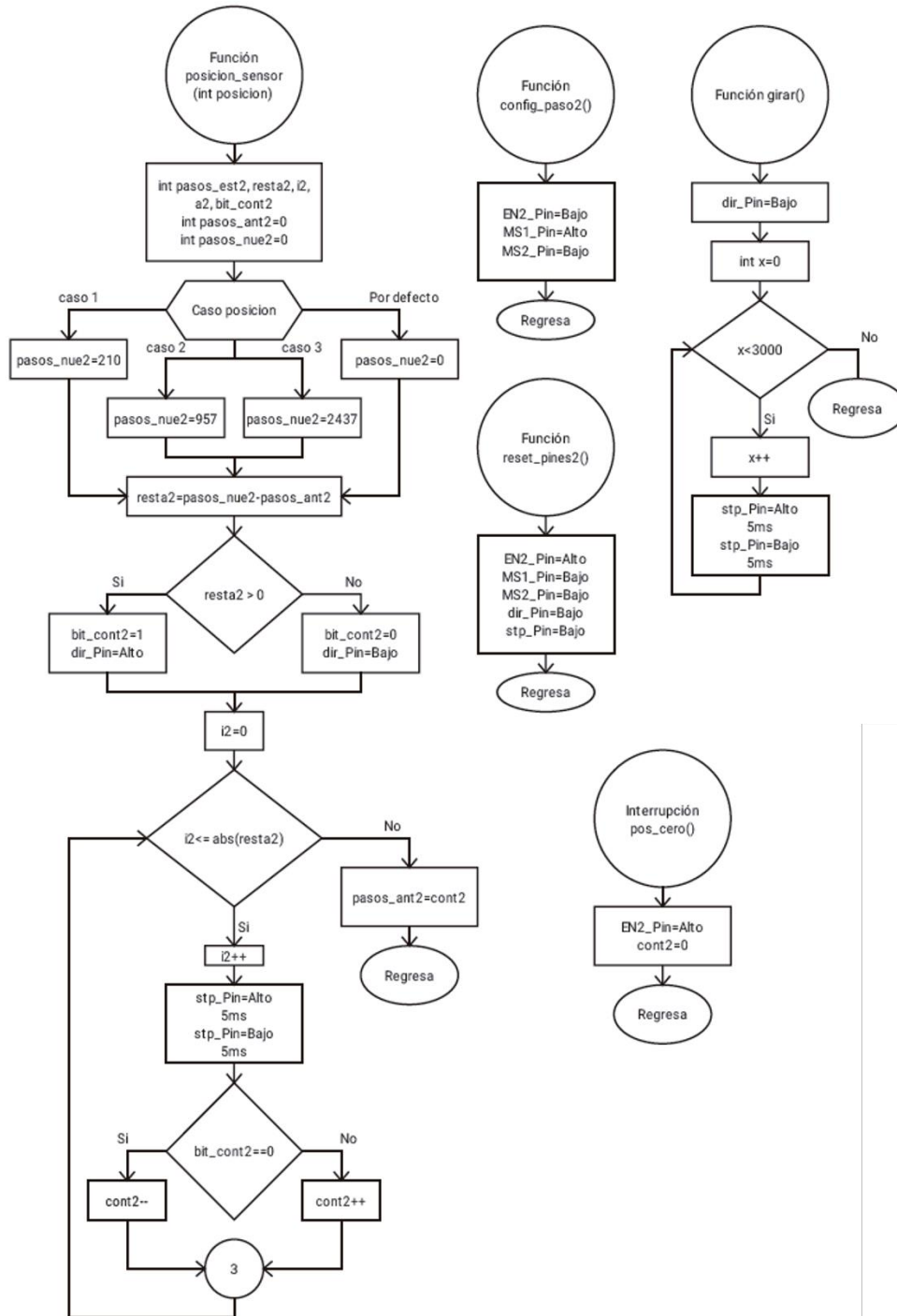


Figura 80. Diagrama de flujo de las funciones para el control de mecanismo de sensores.

La función “reset_pines”, configura todos los pines por defecto antes de iniciar la función “girar” y la función “config_paso2” configura la resolución del paso que seguirá el driver en este caso a medios pasos, haciendo un total de 400 pasos por vuelta.

3.1.3.7 Funciones para el control de recepción de intensidad de luz

El propósito de estas instrucciones es poder obtener los valores de intensidad luminosa de las diferentes fuentes luminosas. Las lecturas se hacen de dos formas distintas, para el sensor AS7265x Triad de Sparkfun, tiene un protocolo de comunicación I2C, por lo que para controlar múltiples sensores solo requiere dos cables del microcontrolador llamados SCL y SDA. El microcontrolador debe de estar configurado en modo maestro y los demás en modo esclavo, con una dirección distinta, esta dirección se puede modificar rompiendo un puente que se encuentra en la parte frontal de sensor para quitar una resistencia pull-up y cambiar la dirección de uno de los sensores. Una vez conociendo las direcciones de ambos sensores en la función “obtener_valor_12C”, ingresamos la dirección del dispositivo al que queremos comunicar y enseguida el registro que deseamos leer, en este caso se leerán todos los registros calibrados que ofrece el sensor espectrómetro.

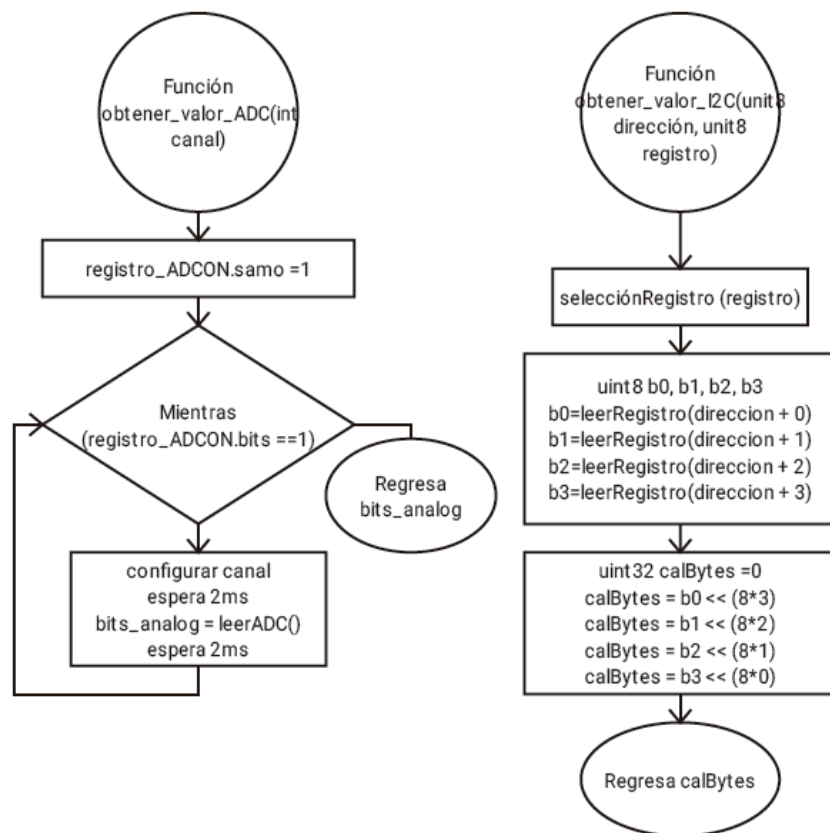


Figura 81. Diagrama de flujo de las funciones para el control de recepción de luz.

Como se aprecia en la Figura 81, los registros calibrados de la lectura de los canales, abarca 4 bytes, por lo que cuando se lee cada registro se almacenan en cuatro variables y después se juntaran para obtener una variable flotante, que ese será el valor de la intensidad luminosa del registro especificado.

Para el caso del sensor UVM30A, tiene una salida analógica, esta salida pasa por un proceso de amplificación de señal en su electrónica y finalmente obtenemos el valor amplificado analógico que es la que entra al microcontrolador. Aquí el microcontrolador habilita su convertidor analógico – digital, controlando los registros ADCON, una vez transformados por un ciclo, retorna la variable convertida, este valor es la intensidad luminosa de una fuente UV. Todos los valores obtenidos para ambos sensores se envían al software intérprete que será el que utilice estos valores para obtener y mostrar los resultados al usuario.

3.2 Sistema acústico

En la Figura 82 se muestra un diagrama de los elementos que conforman al sistema acústico, cuyo funcionamiento se explicará más a detalle en este capítulo.

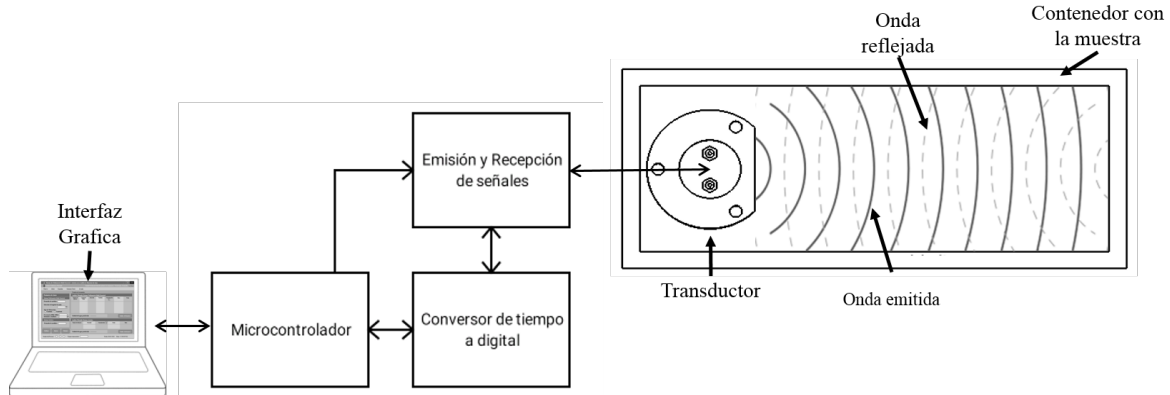



Figura 82. Diagrama General del Sistema Acústico.

3.2.1 Componentes electrónicos

3.2.1.1 Transductor ultrasónico


Para obtener los datos técnicos del transductor ultrasónico, se realizaron pruebas que se pueden ver en la sección “*Evidencias de las pruebas realizadas*”. Los datos generales del componente se muestran a continuación:

 <p><i>Figura 83. Transductor Acústico propiedad del IMP.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$20,000.00 - Frecuencia de excitación: 1.3MHz a 1.5MHz - Tensión de alimentación: 3.3V a 9V - Resistente al agua - Peso: 158g - Dimensiones: 22.95mm de largo y 35.69mm de diámetro
--	--

3.2.1.2 Drivers del transductor y oscilador


- **TDC1011 PWR**

El TDC1011 es un integrado para mediciones de detección ultrasónica, de nivel de líquido, identificación/ concentración de fluidos y aplicaciones de distancias de proximidad comunes en el ámbito industrial, médico y de consumo. El TDC1011 se puede configurar para múltiples pulsos de la transmisión y frecuencias, ganancias y umbrales de señal para usar con una amplia gama de frecuencias de transductor. Del mismo modo, la programabilidad de la ruta permite detectar ondas ultrasónicas en un rango más amplio de distancias a través de varios medios. [95]


 <p><i>Figura 84. TDC1011 PWR [95].</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$106.00 - Rango de medición de hasta 8ms - Corriente de funcionamiento: 1.8Ua - Tensión de entrada: 3.3V - Comunicación por SPI - Excitación programable: (31.25kHz a 4MHz) - Resolución de picosegundos - Rango de operación: -40°C a 125° C - Envío de 31 pulsos - Amplificadores de ganancia de bajo ruido y programables - Comparador de umbral programable para ECO - Modo de baja potencia para mediciones de TOF largas
--	---

- **TDC7200 PWR**

El TDC7200 es un convertidor de tiempo a digital, para la medición ultrasónica, en aplicaciones como medidor de flujo de agua, medidor de flujo de gas y medidor de flujo de calor. Cuando se combina con el TDC101, el TDC7200 es una solución completa de detección ultrasónica. La función principal del convertidor (TDC) es realizar la función de un cronómetro y mide el tiempo transcurrido entre el pulso de Start y el pulso de Stop. [96]

 <p><i>Figura 85. TDC7200 PWR. [96]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$64.00 - Resolución: 55ps - Rango de medición Modo1: 12ns a 500ns Modo2: 250ns a 8ms - Bajo consumo de energía: 0.5uA - Admite cinco señales de STOP - Modo de promedio de ciclos múltiples autónomo para baja - Tensión de suministro 2V a 3.6V - Temperatura de funcionamiento -40° C a 85° C - Interfaz de host SPI para configuración y registro
--	--

- **Oscilador SMD 12MHz [97]**

 <p><i>Figura 86. Oscilador SMD de 12MHz [97]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$50.00 - Frecuencia: 12MHz - Estabilidad de frecuencia: 50PPM - Capacitancia de carga: 15pF - Tensión de alimentación operativa: 3.3V - Temperatura de trabajo: -40° C a 85° C - Régimen de corriente: 2.5mA - Formato de salida CMOS
--	---

3.2.2 Control acústico

3.2.2.1 Generación, recepción de las señales de ultrasónico y lectura del tiempo digital de las señales del transductor

Para comprender el funcionamiento del control del transductor ultrasónico, es necesario conocer primero las conexiones eléctricas y como están enlazados los elementos TDC1011, TDC7200, el transductor y el microcontrolador. En la Figura 87, se puede apreciar la manera de cómo están conectados todos los elementos antes mencionados.

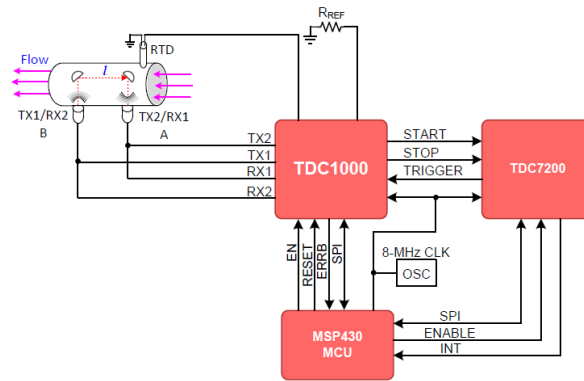


Figura 87. Conexión típica de los integrados TDC1011 y TDC7200. [98]

Para comenzar a entender el programa, se debe de tener claro el funcionamiento de los pines principales de los integrados, en el caso del TDC7200 tenemos el puerto “SPI”, que es por donde se comunica el microcontrolador configurando los registros del bit de “Start” para detección del “Trigger” por flanco de subida o flanco de bajada y del bit de “Stop”, así como los periodos de calibración para la medida del tiempo entre ambos bits. También cuenta con una salida llamada “INT” que indica al microcontrolador cuando ya termino de hacer una medida con su transformación a digital. Y el cable “ENABLE”, que sirve para habilitar el TDC7200, otra función que tiene este puerto de entrada es que cuando este se activa automáticamente envía un pulso de “Trigger” al TDC1011, comenzando con la medida de tiempo.

El integrado TDC1011, posee también un puerto de SPI, que se comunica con el microcontrolador y permite configurar los registros del divisor de frecuencias del transductor, la ventana de eco, filtros de señal, modificar las banderas de error, programar el número de pulsos entre otras configuraciones de mayor detalle para lograr el funcionamiento deseado. El puerto de entrada “EN”, habilita el funcionamiento interno del integrado, el puerto “RESET”, regresa todos los registros a la configuración por defecto. El puerto de “ERRB”, envía al microcontrolador un pulso en alto si llegase a haber un error dentro del integrado por ejemplo que no pueda reconocer la señal de eco para general los bits de inicio y parada.

La función “obtener_medida” solicita que ingresen un valor entero que represente el número de medidas que el usuario desea que realice el programa. Una vez ingresado el número de pruebas, se procede a iniciar el protocolo SPI del microcontrolador y se envían los registros necesarios para la configuración del TCD1011 y el TDC7200.

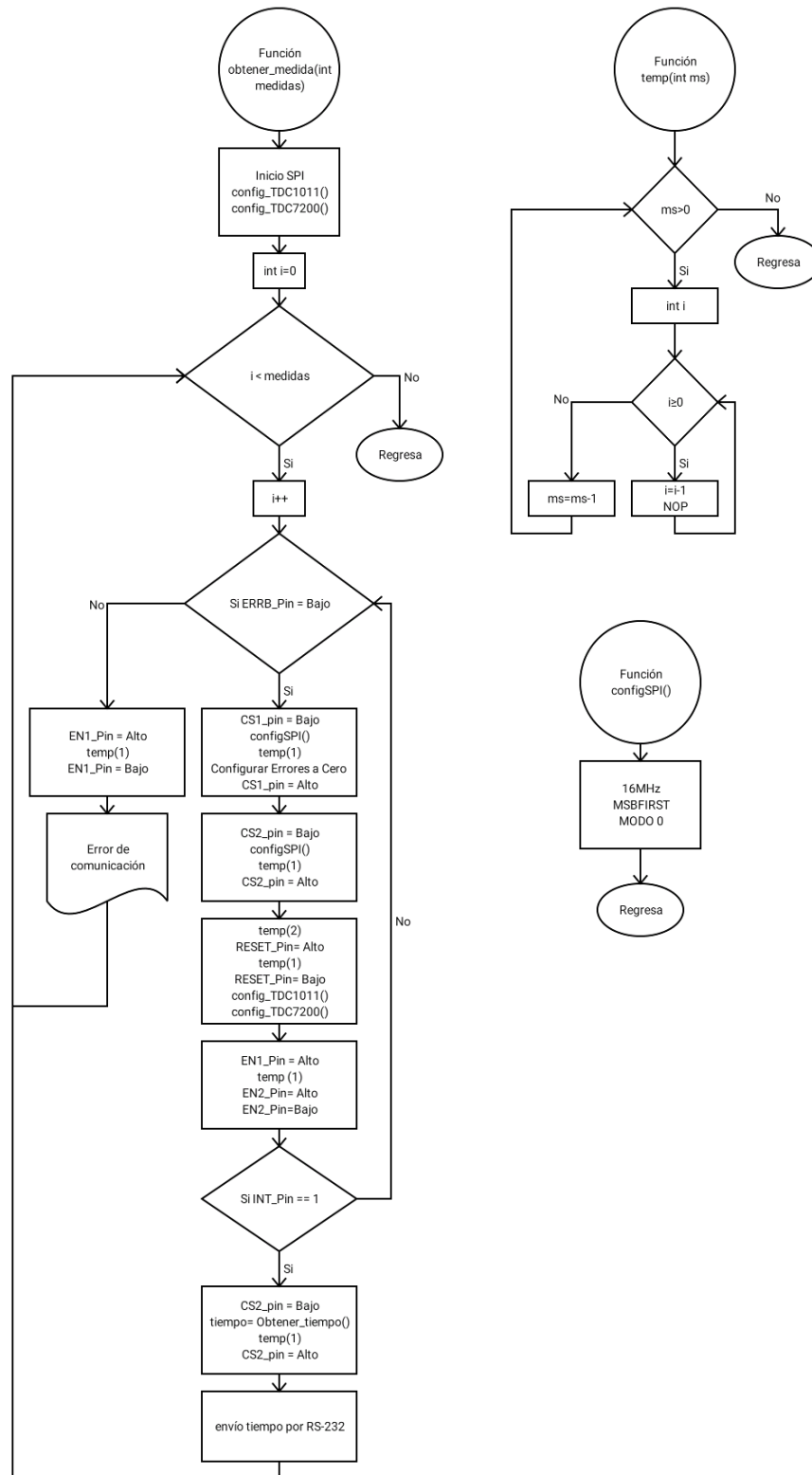


Figura 88. Diagrama de flujo de las funciones para el control del transductor acústico y la transformación de tiempo a digital.

Enseguida con iteraciones se procede a realizar la primera medida, verificamos que no exista error en el TDC1011, si llegase a existir un error podemos deshabilitar el integrado y con el pin “Reset” regresar todos sus registros por defecto, en caso contrario continuamos con la medida del tiempo de una prueba. Para llevar a cabo la comunicación con un integrado específico por protocolo SPI se debe de colocar en bajo el pin esclavo asociado al integrado, esto para que el integrado este informado de que el microcontrolador se quiere comunicar con él. Cabe destacar que en ocasiones algunos dispositivos que se comunican utilizando este protocolo, tienen una frecuencia de reloj distinta de comunicación y modo de configuración del protocolo SPI diferente, esto causa problemas de comprensión entre el maestro y el esclavo, es importante verificar en las hojas de datos cuál es la frecuencia de comunicación para programar al microcontrolador a la misma frecuencia y al mismo modo. En este caso la función que realiza esa configuración de la velocidad de transmisión de datos por el bus es la función “configSPI()”

Luego se vuelve configurar los registros de ambos integrados, esto se realiza solo para asegurar que los registros fueron modificados con la forma de trabajo deseada. Una vez que se envía un estado en alto por el pin “EN” del TDC7200, automáticamente envía el pulso de “Trigger” al TDC1011 detectando el bit de “Stop”, provocando que emita un tren de pulsos por el traductor ultrasónico, esta señal se propagara por el medio que se encuentre en el contenedor hasta encontrarse con la pared de acrílico que provocará una deformación en la señal convirtiéndola en el eco, la señal de eco pierde amplitud por el recorrido que a través hace del medio por lo que el TDC1011 amplifica la señal para detectar el bit de “STOP”. Estos bits se retornan automáticamente al circuito integrado TDC7200, y este calcula el tiempo entre ambos convirtiéndolo a digital, una vez que haya terminado de hacer la transformación, envía un pulso al microcontrolador por el puerto “INT” que en el programa estamos evaluando constantemente y es nuestra señal de que podemos leer el registro de la diferencia de tiempo. Se procede a obtener el registro almacenándola en una variable de tipo flotante que será enviado por el protocolo de comunicación hacia el software intérprete.

La función “temp” es una función que demora los milisegundos indicados en la entrada, con comandos de lenguaje ensamblador.

3.2.2.2 Contenedor de agua para la propagación del eco

El contenedor de las muestras de agua para el análisis ultrasónico será manufacturado con acrílico, este material es bueno para reflejar la onda acústica ya que no es material poroso y absorbe muy poca energía acústica, se cortará las caras con las medidas 16 cm x 6cm x 3cm, y se sellará con pegamento epoxi y silicón para evitar fugas de agua. El proceso de propagación de eco se llevará a cabo dentro de la cámara con la muestra, y el eco se obtendrá hasta que la onda choque con una de las paredes del contenedor. Allí se calcula la distancia que existe entre el transductor ultrasónico y la pared para así calcular la velocidad de propagación de la onda en el agua. En la Figura 89, se puede apreciar el modelo en 3D del contenedor que se desea utilizar.

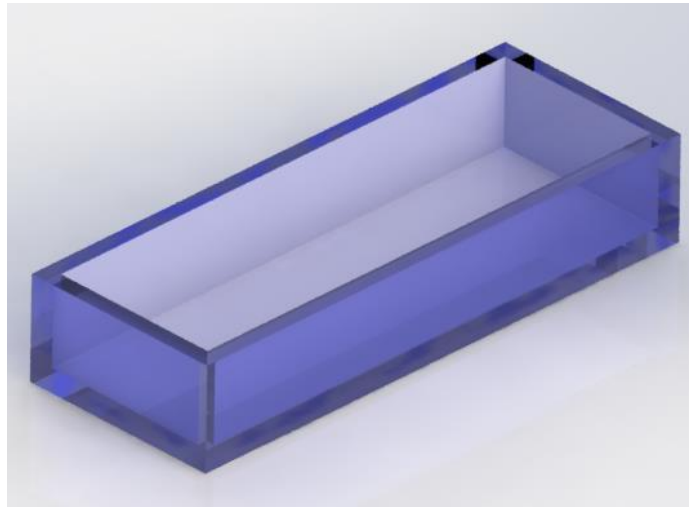


Figura 89. Modelo en 3D del contenedor de la muestra para el análisis acústico.

El acrílico posee bajo peso y por lo tanto baja densidad, tiene gran resistencia al medio ambiente y resistencia a la degradación por rayos ultravioleta, no se opaca con el tiempo, facilidad para aplicar termo formado entre temperaturas entre 140° C a 180° C, fácil limpieza, resistencia al impacto, resistencia a productos químicos como ácidos, bases, amoniaco, hidrocarburos alifáticos y no resiste hidrocarburos clorinados, solventes aromáticos como benceno, terpeno, tolueno, trementina, alcoholes etílicos y metílicos, ácidos orgánicos como el acético, fenoles, thinner, cetonas y éteres. [99]

3.3 Sistema eléctrico y electrónico

3.3.1 Alimentación eléctrica

En el diagrama de la Figura 90 que a continuación se muestra se aprecia, las conexiones de bloques del flujo de la tensión para el suministro eléctrico del sistema.

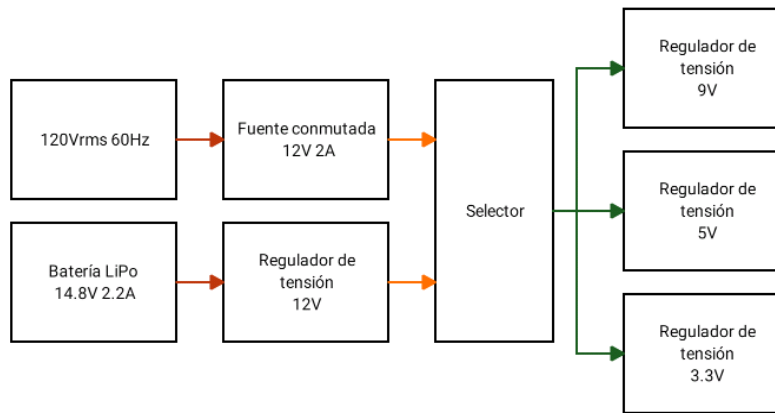








Figura 90. Diagrama a bloques de la conexión del suministro eléctrico.

3.3.1.1 Fuente de alimentación, reguladores y baterías

Tabla 26. Fuente de alimentación, reguladores de tensión y baterías.

Nombre del elemento	Características	Figura del elemento
<p>Fuente de Alimentación AC-DC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$323.15 - Voltaje de salida: 12VDC \pm 1% - Número de salidas: 1 - Potencia de salida: 25W - Voltaje de entrada: 110/220V \pm15% - Corriente de salida: 2.1A - Longitud: 85mm - Ancho: 58mm - Altura: 35mm - Marca: WEHO® - Modelo: S-25-12 - Peso de la unidad 0.3kg 	 <p>Figura 91. Fuente de Alimentación S-25-12. [97].</p>

<p>Regulador de Voltaje Positivo 12V 1A (L 7812CV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$10.34 - Voltaje de salida: 12V - Voltaje Mínimo de entrada: 15V - Voltaje Máximo de entrada: 35V - Corriente máxima de salida: 1A - Fabricante: ST MICROELECTRONICS 	 <p><i>Figura 92. Regulador L7812CV. [100]</i></p>
<p>Regulador de Voltaje Positivo 9V 1.5A (L 7809CV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$9.48 - Voltaje de salida: 9V - Voltaje Mínimo de entrada: 11V - Voltaje Máximo de entrada: 35V - Corriente máxima de salida: 1.5A - Fabricante: ST MICROELECTRONICS 	 <p><i>Figura 93. Regulador L7809CV. [101]</i></p>
<p>Regulador de Voltaje Positivo 5V 1A (L 7805CV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$6.89 - Voltaje de salida: 5V - Voltaje Mínimo de entrada: 7.5V - Voltaje Máximo de entrada: 35V - Corriente máxima de salida: 1A - Fabricante: ST MICROELECTRONICS 	 <p><i>Figura 94. Regulador L7805CV. [102]</i></p>
<p>Regulador de 3.3V 500mA (MCP1725)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: Circuito incorporado en la ChipKIT uC32 - Capacidad de corriente de salida de 500 mA. - Rango de voltaje operativo de entrada: 2.3V a 6.0V - Rango de voltaje de salida ajustable: 0.8V a 5.0V - Voltajes de salida fijo: 3.3V - Bajo voltaje de caída: 210 mV típico a 500 mA 	 <p><i>Figura 95. Regulador MCP1725. [103]</i></p>
<p>Baterías LiPo 14.8V</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Precio: \$1267.87 - Tensión: 14.8V - Corriente: 2200mA - Batería con Deans T Plug - Temperatura de trabajo: 30° C - Marca: HRB - Peso: 220g 	 <p><i>Figura 96. Celda de cuarzo. [104]</i></p>

Es importante mencionar que para la regulación de 3.3V de las tarjetas electrónicas se utilizará el Regulador incorporado por la Tarjeta de Desarrollo ChipKIT®, el cual consiste en un circuito integrado Microchip MCP1725 y permite una corriente de salida máxima de 500 mA y su voltaje de entrada máximo es de 6V. [105]

3.3.2 Circuitos eléctricos y placas

En este apartado se muestra el diseño de los circuitos electrónicos a implementar, cabe destacar que los diagramas se realizaron a través de módulos para facilitar su diseño. El diagrama a bloques de cada uno de los circuitos electrónicos desarrollados, así como la interacción entre estos se muestra en la Figura 97.

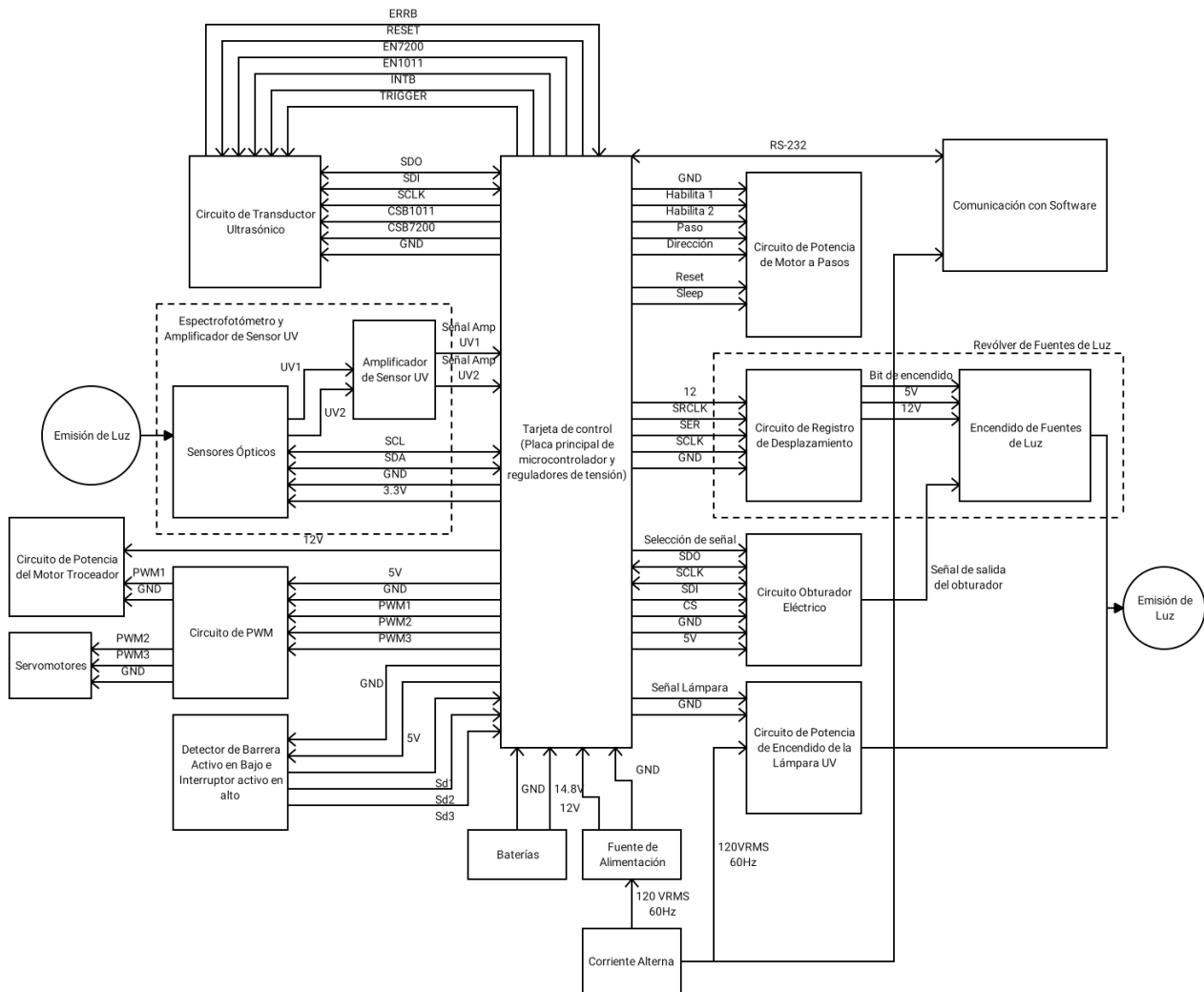


Figura 97. Diagrama a bloques de la conexión entre los circuitos eléctricos.

Partiendo del diagrama anterior, se observa que la parte electrónica está dividida en 10 placas que son las siguientes:

- Tarjeta de control (Placa principal del Microcontrolador y reguladores de tensión)
- Circuito Obturador Eléctrico
- Circuito Revolver de Fuentes de Luz (Registro de Desplazamiento y Encendido de las Fuentes de Luz)
- Espectrofotómetro y Amplificador del Sensor UV
- Circuito de Potencia de Encendido de la Lámpara UV
- Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto
- Circuito de PWM
- Circuito de Potencia de Motor Troceador
- Circuito de Potencia de Motor a Pasos
- Circuito de Transductor Ultrasónico

A continuación, se muestran el diseño de cada uno de los diagramas electrónicos, así como los cálculos realizados para su diseño.

3.3.2.1 Tarjeta de control (Placa principal del microcontrolador y reguladores de tensión)

La tarjeta de control es la encargada del procesamiento de los datos, el control de las fuentes de luz, los motores a pasos y servomotores, así como la comunicación SPI e I²C de los sensores inteligentes. Está diseñada para que pueda ensamblarse como un shield en la tarjeta de desarrollo ChipKIT uC32. El Diagrama Esquemático se puede observar en la Figura 98, en donde se puede observar que se implementaron diferentes bloques (terminales) que representan la conexión de los diferentes módulos para conectar las diferentes placas que se estarán utilizando.

En el caso de la alimentación de la tarjeta (Figura 99), esta se podrá realizar de 2 maneras: utilizando una fuente de alimentación AC/DC de +12V o mediante una batería de +14.8V. Con cualquiera de las opciones mencionadas previamente, la tarjeta proporcionará alimentaciones reguladas de +12V, +9V, +5V y +3.3V, que servirán para proporcionar a las otras placas la energía necesaria para su funcionamiento.

TARJETA DE CONTROL CHIPKIT UC32

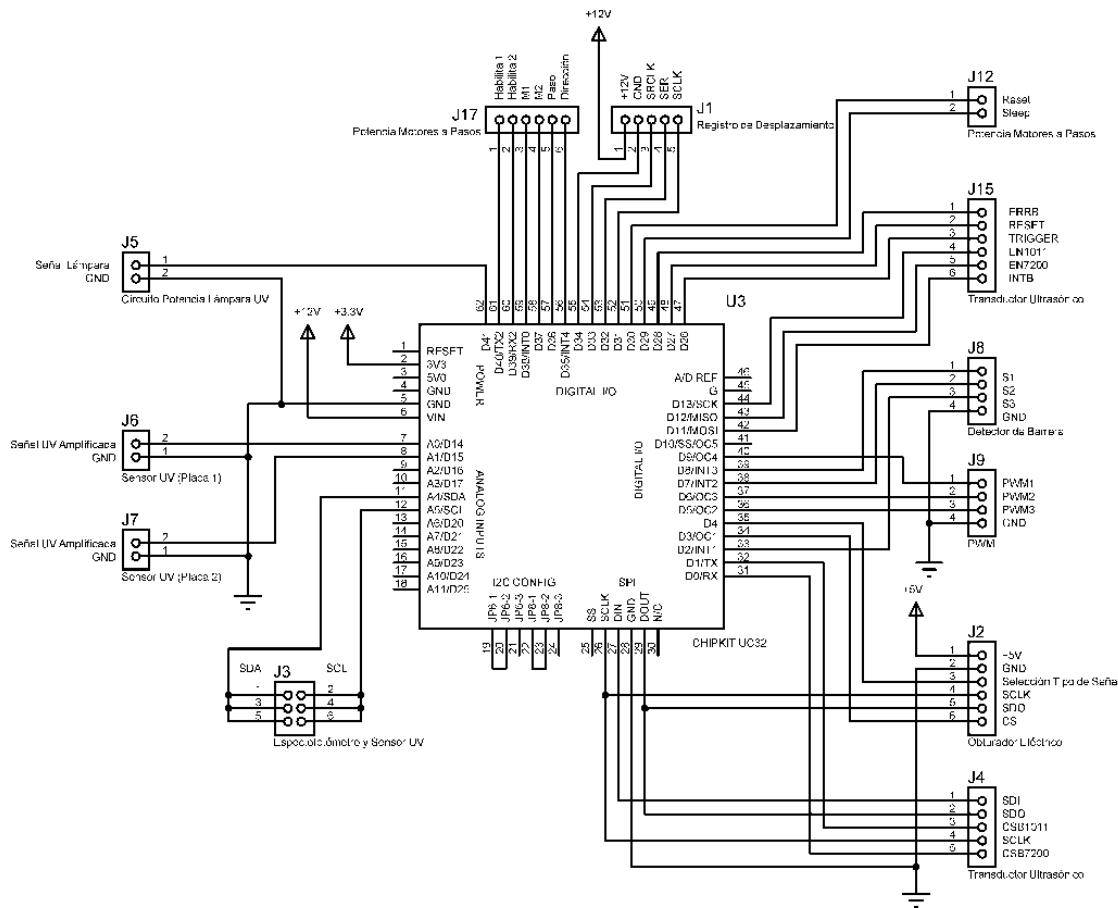


Figura 98. Diagrama esquemático de las conexiones al microcontrolador.

CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN

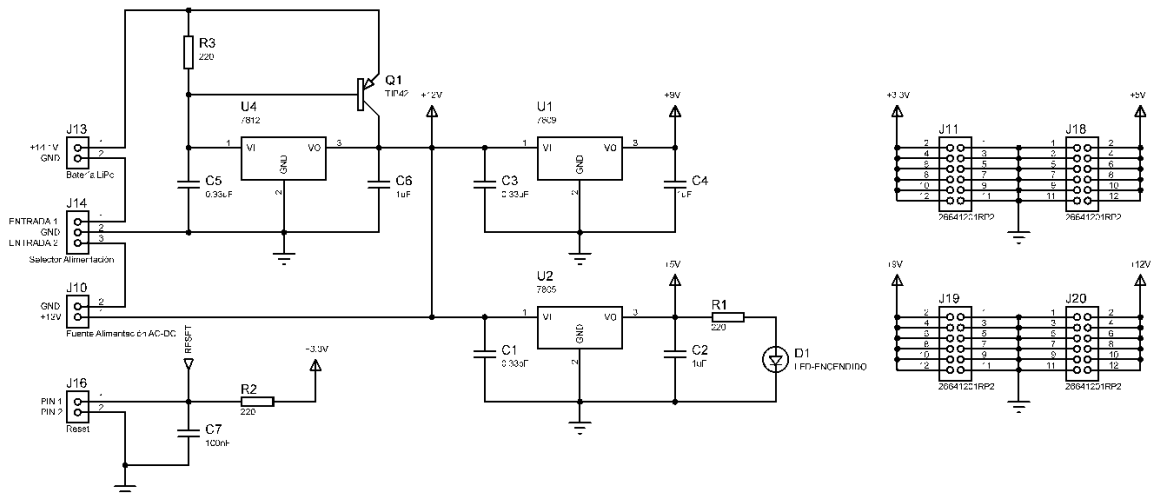


Figura 99. Diagrama esquemático del circuito de alimentación al microcontrolador.

Finalmente, se muestra el prototipo de diseño para el PCB y su respectivo modelo en 3D.

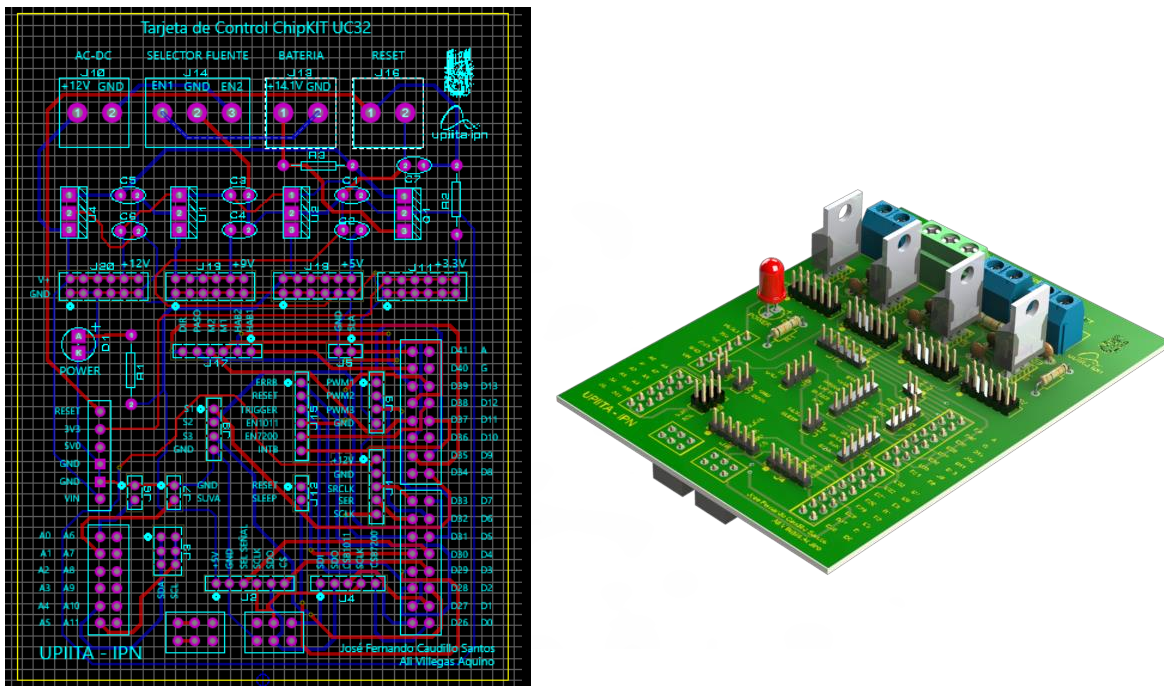


Figura 100. Diseño del PCB y Modelo en 3D de la Tarjeta de Control.

3.3.2.2 Registro de desplazamiento

Este circuito está diseñado para que, por medio de tres cables, se pueda controlar n número de fuentes de luz, esto se logra con el integrado de registro de desplazamiento 74HC595. Este integrado tiene ocho salidas para controlar, si se desea aumentar solo se conecta otro integrado en serie, al último bit y se agranda la palabra de configuración en la programación del mismo. El pin llamado SER es el pin que ingresa un valor alto o bajo, el pin SRCLK es el pin que por medio de pulsos va generando la palabra de configuración para las salidas y estos valores los guarda en memoria solo por un tiempo corto, para que el pin RCLK pueda enviar los datos que se encuentran en memoria a los pines de salida, provocando el encendido o apagado de las fuentes de luz. En la Figura 101, se puede apreciar el circuito electrónico para el control de 24 fuentes de luz.

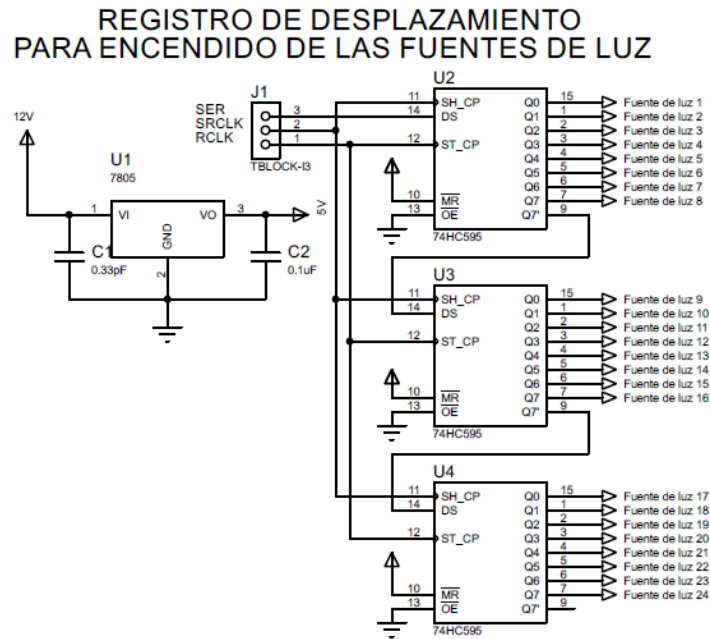


Figura 101. Diagrama esquemático del circuito de registro de desplazamiento.

Este circuito también presenta una etapa de regulación de tensión a 9V y 5V, estas regulaciones se realizan en este diagrama debido a que la placa se alimentará únicamente con 12V, debido a que el anillo de conectores no posee suficientes cables, por lo que la regulación de tensión para el encendido de los integrados, compuertas y leds, se realizará en la placa revolver de fuentes de luz.

3.3.2.3 Circuito obturador eléctrico

La obturación eléctrica de las fuentes de luz LED se realizará mediante un Timer 555 para generar una señal cuadrada modulada. En donde, se estará utilizando una configuración de tipo Astable como se muestra en el Diagrama de la Figura 102.

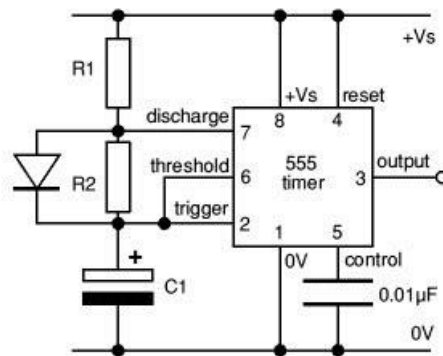


Figura 102. Configuración Astable del integrado 555. [106]

A partir de la configuración Astable mostrada en la Figura 102, se presenta una variación respecto a esta que consiste en colocar un diodo en paralelo con R_2 . Esto permite que el condensador C solo se cargue a través de R_1 y se descargue por R_2 . Para los propósitos del sistema, se requiere que $T_{ON} \approx T_{OFF}$, por lo cual con este ajuste se garantiza que la señal cuadrada generada tenga un ciclo de trabajo $\approx 50\%$. De esta manera se tiene que los tiempos de encendido T_{ON} y apagado T_{OFF} están definidos por las siguientes Ecuaciones:

$$T_{ON} = 0.693 \cdot R_1 \cdot C \text{ [s]} \quad (11)$$

$$T_{OFF} = 0.693 \cdot R_2 \cdot C \text{ [s]} \quad (12)$$

Dado a que en este caso el ciclo de trabajo es del 50%, a partir de las Ecuaciones (11) y (12), se puede establecer la siguiente relación para calcular los valores de R_1 y R_2 :

$$\begin{aligned} T_{ON} &= T_{OFF} \\ 0.693 \cdot R_1 \cdot C &= 0.693 \cdot R_2 \cdot C \\ R_1 &= R_2 \end{aligned} \quad (13)$$

De esta manera, se observa que R_1 debe ser igual que R_2 .

Para el caso de la Frecuencia de oscilación, esta se encuentra definida por la siguiente ecuación en función de $T_{ON} + T_{OFF}$:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (14)$$

Sustituyendo las Ecuaciones (11) y (12) en la Ecuación (14):

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{1}{0.693 \cdot R_1 \cdot C + 0.693 \cdot R_2 \cdot C} \\ f &= \frac{1}{0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C} \end{aligned} \quad (15)$$

Considerando un $C = 1\mu F$ y sustituyendo la Ecuación (13) en la (15), la ecuación de la Frecuencia se reduce a:

$$f = \frac{1}{0.693 \cdot (R_1 + R_1) \cdot 1\mu F}$$

$$f = \frac{1}{1.386 \cdot R_1 \cdot 1\mu F}$$

$$f = \frac{721500}{R_1} \tag{16}$$

Para usos del sistema de obturación, se propondrá una $f_{mín} = 10Hz$ y una $f_{máx} = 1kHz$, por lo que despejando R_1 de la Ecuación (16), se obtiene que los valores que se requieren para las resistencias son:

$$R_{1\ máx} = \frac{721500}{f_{mín}} = \frac{721500}{10} = 72.15k\Omega \tag{17}$$

$$R_{1\ mín} = \frac{721500}{1000} = 721.5\Omega \tag{18}$$

De esta manera se observa que las Resistencias Variables a implementar para hacer un barrido entre las frecuencias deseadas, las cuales requieren estar entre un rango de 721.5Ω a $72.15k\Omega$. Dado a que se requiere que el cambio entre frecuencias sea rápido y mediante programación, se utilizarán Potenciómetros Digitales de $100k\Omega$.

En la Figura 103, se muestra el diseño final del circuito obturador, en el cual ya se implementan los potenciómetros digitales que permitirán hacer la variación de frecuencias deseadas.

CIRCUITO OBTURADOR ELÉCTRICO

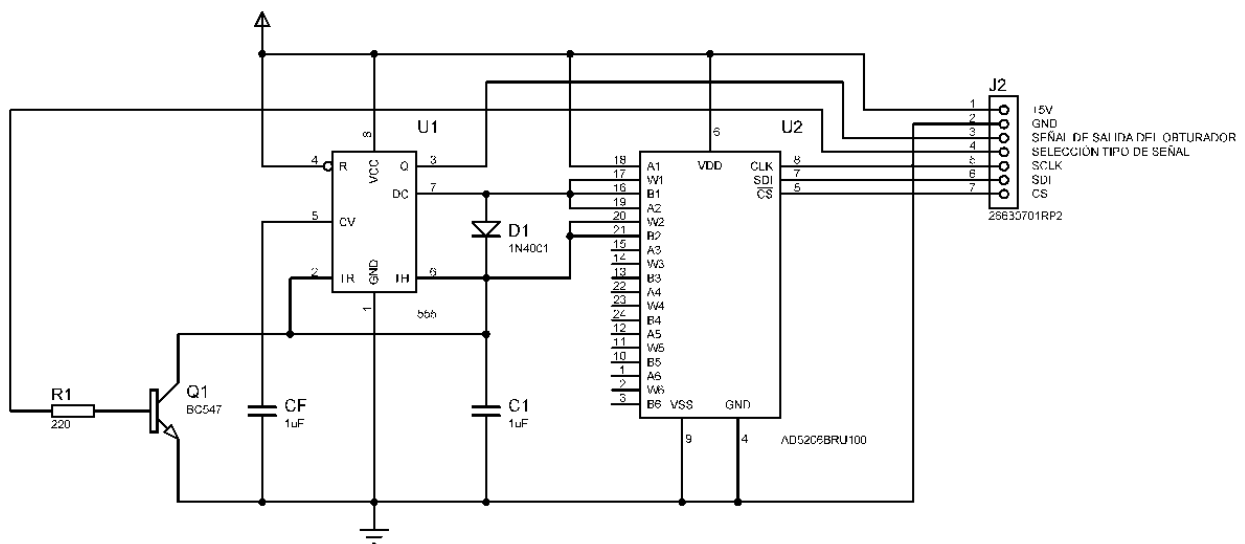


Figura 103. Diagrama esquemático del circuito obturador eléctrico.

Esta tarjeta será la encargada de realizar la obturación eléctrica de las fuentes de luz LED pertenecientes al sistema de nefelometría. En el esquemático se observa que la señal modulada para excitar a los LED se da a través del PIN 3 del 555, el cual está conectado a la terminal J1. La implementación del transistor Q1 en paralelo al capacitor C, permite realizar una selección de la señal generada por el 555 mediante una señal que viene del microcontrolador. Cuando la base del transistor se encuentre en estado alto, satura al transistor Q1 creando un corto circuito en el Capacitor C (no permite que se cargue). De esta manera se tienen 2 posibles comportamientos:

- Cuando la base en Q1 se encuentre en estado bajo, la señal en la salida del integrado 555 será cuadrada.
- Cuando la base en Q1 se encuentre en estado alto, la señal en la salida del integrado 555 será una señal constante (sin frecuencia).

De esta manera, el circuito de obturación podrá generar dos posibles señales para encender a las fuentes de luz LED, las cuales se muestran en las siguientes simulaciones que se realizaron en el software Multisim®.

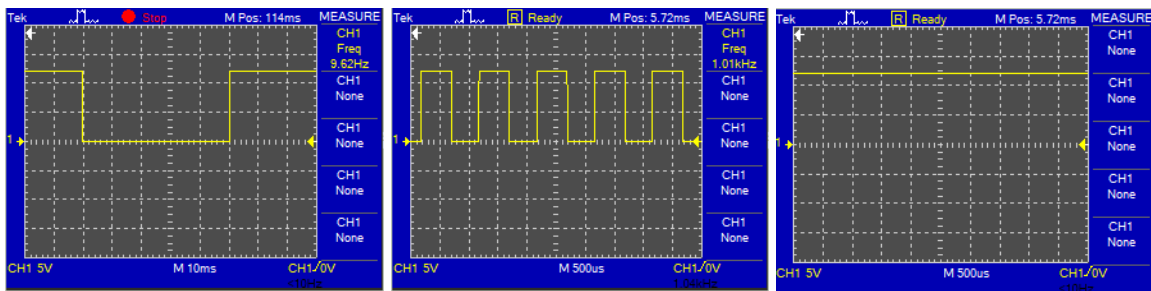


Figura 104. Simulaciones realizadas para verificar la obturación eléctrica: a) $f=10\text{Hz}$, b) $f=1\text{kHz}$, c) Salida Constante.

A continuación, se muestra el diseño del circuito impreso para el obturador eléctrico.

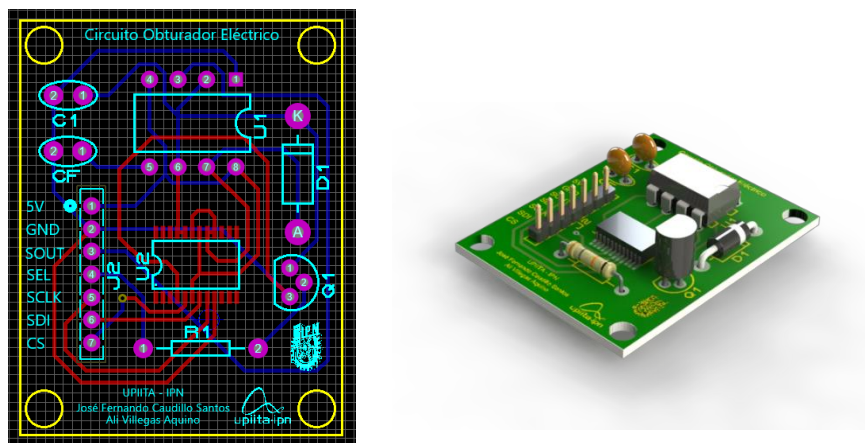


Figura 105. Diseño del PCB y Modelo en 3D del Circuito de Obturación Eléctrica.

3.3.2.4 Circuito revolver de fuentes de luz y encendido de fuentes de luz

El encendido de las fuentes de luz depende de someter bajo una compuerta “AND”, la señal de registro de desplazamiento y la señal del obturador eléctrico, esto causara que, en cada estado en alto del obturador eléctrico, polarice al transistor en la base por un periodo de tiempo y genere el efecto de obturación mecánica.

Para evitar que los diodos LED se quemen, por exceso de corriente es imprescindible conectarle a cada una de las Fuentes de luz LED una Resistencia Limitadora cuyo valor dependerá de la Tensión Umbral del diodo (Caída de Tensión) y de la Corriente de Trabajo del LED, siendo esta la corriente eléctrica a la que se consigue la luminosidad indicada por el fabricante. Por lo cual, la conexión eléctrica a seguir para realizar los cálculos es la que se tiene en la siguiente Figura 106.

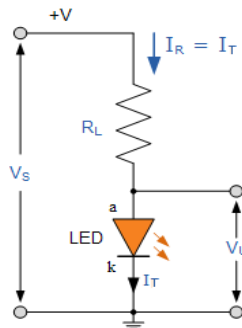


Figura 106. Conexión Eléctrica para determinar el valor de la Resistencia Limitadora de cada LED. [107]

Para calcular esta Resistencia Limitadora sólo es necesario aplicar la Ley de Ohm como se muestra en la siguiente Ecuación.

$$R_L = \frac{V_{cc} - V_u}{I_T} \quad (19)$$

Donde: $V_s = V_{cc} =$ Tensión de la Fuente
 $V_u = V_{DN} =$ Tensión de Trabajo del LED
 $I_T =$ Corriente de Trabajo del LED
 $R_L =$ Resistencia Limitadora de Corriente

A partir, de la Ecuación (19) se determinó la Resistencia Limitadora para cada uno de los LEDs del sistema nefelométrico. Los cálculos obtenidos se muestran en la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 27. Resistencia Limitadora calculada para cada LED UV del sistema nefelométrico.

Alimentación V_{CC} : 12V						
Nombre del LED	Caída de Tensión en el LED (V_{DN})	Corriente Nominal	Resistencia Limitadora Calculada	Potencia Disipada	Resistencia Comercial (R_{LN})	Canal de lectura del sensor
Led UV SMD 265nm – 285 nm	Min: 5V Max: 9V	15mA	467 Ω 200 Ω	75mW 135mW	470 Ω a 1/4W 220 Ω a 1/4W	Sensor UV
Led UV SMD 278 nm	Min: 4V Typ: 5V Max: 7V	150mA	53 Ω 47 Ω 33 Ω	600mW 750mW 1.05W	56 Ω a 1W 47 Ω a 1W 33 Ω a 1W	Sensor UV
Led UV SMD 275 nm – 286nm	Min: 5V Typ: 6.45V Max: 7.5V	350mA	20 Ω 15.85 Ω 12.85 Ω	1.75W 2.25W 2.625W	22 Ω a 2W 15 Ω a 3W 12 Ω a 3W	Sensor UV
Led UV SMD 280 nm – 286nm	Min: 4V Typ: 5.2V Max: 7V	20mA	400 Ω 340 Ω 250 Ω	80mW 104mW 140mW	390 Ω a 1/2W 330 Ω a 1/2W 270 Ω a 1/2W	Sensor UV
Led UV SMD 365nm - 370nm	Min: 3.5V Typ: 3.8V Max: 4.5V	700mA	12.14 Ω 11.71 Ω 10.71 Ω	2.45W 2.66W 3.15W	12 Ω a 3W 12 Ω a 3W 10 Ω a 3W	Sensor UV
Led SMD UV 1W 375- 380 nm / 3535	Min: 3V Max: 4V	700mA	12.85 Ω 11.42 Ω	2.1W 2.8W	12 Ω a 3W 12 Ω a 3W	Sensor UV
Led UV 1W 375- 380 nm / 3535	Min: 3V Max:4V	350mA	25.71 Ω 22.85 Ω	1.05W 1.4W	27 Ω a 2W 22 Ω a 2W	Sensor UV
Led DIP 5mm Ultravioleta Longitud de onda 400nm	4.5V	20mA	375 Ω	60mW	390 Ω a 1/4W	Canal A

Tabla 28. Resistencia Limitadora calculada para cada LED VIS del sistema nefelométrico.

Alimentación V_{CC} : 5V						
Nombre del LED	Caída de Tensión en el LED (V_{DN})	Corriente Nominal	Resistencia Limitadora Calculada	Potencia Disipada	Resistencia Comercial (R_{LN})	Canal de lectura del sensor
Led DIP 5mm Violeta Estándar	3.4V	20mA	80 Ω	40mW	82 Ω a 1/4W	Canal B
Led DIP 5mm Rosa Brillante	3.2V	20mA	90 Ω	64mW	82 Ω a 1/4W	Canal R
Led DIP 5mm Naranja Estándar	2.2V	20mA	140 Ω	40mW	150 Ω a 1/4W	Canal R
Led DIP 5mm Amarillo Estándar	2.2V	20mA	140 Ω	40mW	150 Ω a 1/4W	Canal R

Led DIP 5mm Azul Estándar	3.4V	20mA	80Ω	60mW	82Ω a 1/4W	Canal E
Led DIP 5mm Verde Estándar	2.2V	20mA	140Ω	40mW	150Ω a 1/4W	Canal F
Led DIP 5mm Rojo Estándar	2.2V	20mA	140Ω	40mW	150Ω a 1/4W	Canal R
Led DIP 5mm Blanco Puro Estándar	3.4V	20mA	80Ω	60mW	82Ω a 1/4W	Canal F

Tabla 29. Resistencia Limitadora calculada para cada LED IR del sistema nefelométrico.

Alimentación V_{CC} : 5V						
Nombre del LED	Caída de Tensión en el LED (V_{DN})	Corriente Nominal	Resistencia Limitadora Calculada	Potencia Disipada	Resistencia Comercial (R_{LN})	Canal de lectura del sensor
Led Infrarrojo SMD 850nm	Min: 2.7V Typ: 3.2V Max: 3.7V	1000mA	2.3Ω 1.8Ω 1.3Ω	2.7W 3.2W 3.7W	2.2Ω a 3W 1.8Ω a 3W 1.2Ω a 3W	Canal W
Led Infrarrojo 25 Grados 875nm	2V	100mA	30Ω	200mW	33Ω a 1/4W	Canal W
Led Infrarrojo SMD 880nm	Typ: 1.3V Max: 1.6V	50mA	74Ω 68Ω	65mW 80mW	74Ω a 1/4W 68Ω a 1/4W	Canal K
Led Infrarrojo 20 Grados 940nm	1.8V	100mA	32Ω	180mW	33Ω a 1/4W	Canal L
Led Infrarrojo Galio Arsénico 950nm	1.5V	50mA	70Ω	75mW	68Ω a 1/4W	Canal L

Las resistencias y las tensiones para las fuentes de luz son diferentes debido a que cada fuente tiene una longitud de onda específica y esto se debe al material por el que están fabricados y para alcanzar la máxima luminosidad, todos se excitan con corrientes diferentes.

La Figura 107, muestra el circuito general que se implementará para cada fuente de luz. Es necesario realizar los cálculos de las mallas del transistor NPN, para determinar que resistencia que se colocara en la base y que tipo de transistor se puede utilizar.

ENCENDIDO DE "N" FUENTE DE LUZ

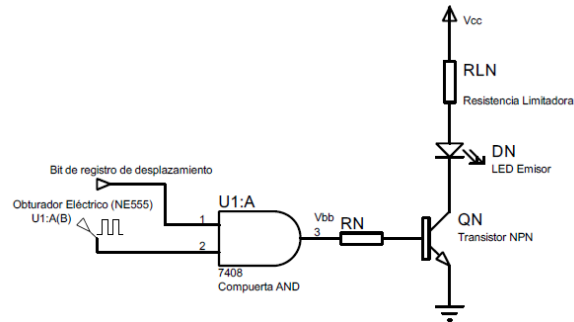


Figura 107. Diagrama esquemático del circuito de encendido de las fuentes de luz.

Obteniendo las ecuaciones de la malla base - emisor, tenemos:

$$V_{bb} = R_N I_B + V_{BE}$$

Despejando la corriente I_B :

$$I_B = \frac{V_{bb} - V_{BE}}{R_N}$$

Tomando valores ideales tenemos que $V_{bb} = 5V$, $V_{BE} = 0.7V$ y proponemos R_N para obtener una corriente de base.

En este caso para conocer la corriente I_B , se propusieron diferentes valores de resistencia para cada fuente de luz, verificando que la resistencia seleccionada cumpla, con la tensión colector – emisor sea positivo y menor a la tensión V_{cc} y que la corriente de colector sea la suficiente que requiere el led para poder encender.

Obteniendo las ecuaciones de la malla colector – emisor, tenemos:

$$V_{CC} = V_{CE} + R_{LN} I_C - V_{DN}$$

Despejando V_{CE} :

$$V_{CE} = V_{CC} - R_{LN} I_C + V_{DN}$$

Donde $I_C = \beta I_B$:

Aplicando estas ecuaciones anteriores a cada fuente obtenemos la Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32, donde se especifica cuál es la resistencia de base para cada fuente de luz, así como el transistor a utilizar. Para esto, los transistores propuestos son, el P2N2222A con una $\beta = 150$ y el BD137 con una $\beta = 250$.

Tabla 30. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes UV.

Leds UV				
Nombre del LED	Tensión colector – emisor (V_{CE})	Corriente de colector (I_C)	Resistencia de base (R_N)	Transistor
Led UV SMD 265nm – 285 nm	3.22V	29.31mA	22k Ω	P2N2222A
Led UV SMD 278 nm	2.62V	238.88mA	2.7k Ω	P2N2222A
Led UV SMD 275 nm – 286nm	8.93V	537.5mA	1.2k Ω	P2N2222A
Led UV SMD 280 nm – 286nm	4.56V	29.31mA	22k Ω	P2N2222A
Led UV SMD 365nm - 370nm	2.6V	1.075A	1k Ω	BD137
Led SMD UV 1W 375- 380 nm / 3535	2.1V	1.075A	1k Ω	BD137
Led UV 1W 375- 380 nm / 3535	3.39V	430mA	1.5k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Ultravioleta Longitud de onda 400nm	2.525V	35.83mA	18k Ω	P2N2222A

Tabla 31. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes VIS.

Leds VIS				
Nombre del LED	Tensión colector – emisor (V_{CE})	Corriente de colector (I_C)	Resistencia de base (R_N)	Transistor (Q_N)
Led DIP 5mm Violeta Estándar	1.95V	78.65mA	8.2k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Rosa Brillante	1.75V	78.65mA	8.2k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Naranja Estándar	0.75V	43mA	15k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Amarillo Estándar	0.75V	43mA	15k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Azul Estándar	1.95V	78.65mA	8.2k Ω	P2N2222A
Led DIP 5mm Verde Estándar	0.75V	43mA	15k Ω	P2N2222A

Led DIP 5mm Rojo Estándar	0.75V	43mA	15kΩ	P2N2222A
Led DIP 5mm Blanco Puro Estándar	1.95V	78.65mA	8.2kΩ	P2N2222A

Tabla 32. Resistencia de base y selección del transistor para las fuentes IR

Leds IR				
Nombre del LED	Tensión colector – emisor (V_{CE})	Corriente de colector (I_C)	Resistencia de base (R_N)	Transistor (Q_N)
Led Infrarrojo SMD 850nm	4.81V	1.31A	820Ω	BD137
Led Infrarrojo 25 Grados 875nm	2.47V	137.23mA	4.7kΩ	P2N2222A
Led Infrarrojo SMD 880nm	1.52V	64.5mA	10kΩ	P2N2222A
Led Infrarrojo 20 Grados 940nm	2.99V	115.17mA	5.6kΩ	P2N2222A
Led Infrarrojo Galio Arsénico 950nm	1.15V	78.65mA	8.2kΩ	P2N2222A

Analizando las tablas se puede comprobar que cada led está trabajando en la zona activa del transistor. Finalmente se diseña el PCB y su modelo en 3D. A continuación, se muestra la placa revolver de fuentes de luz en la Figura 108.

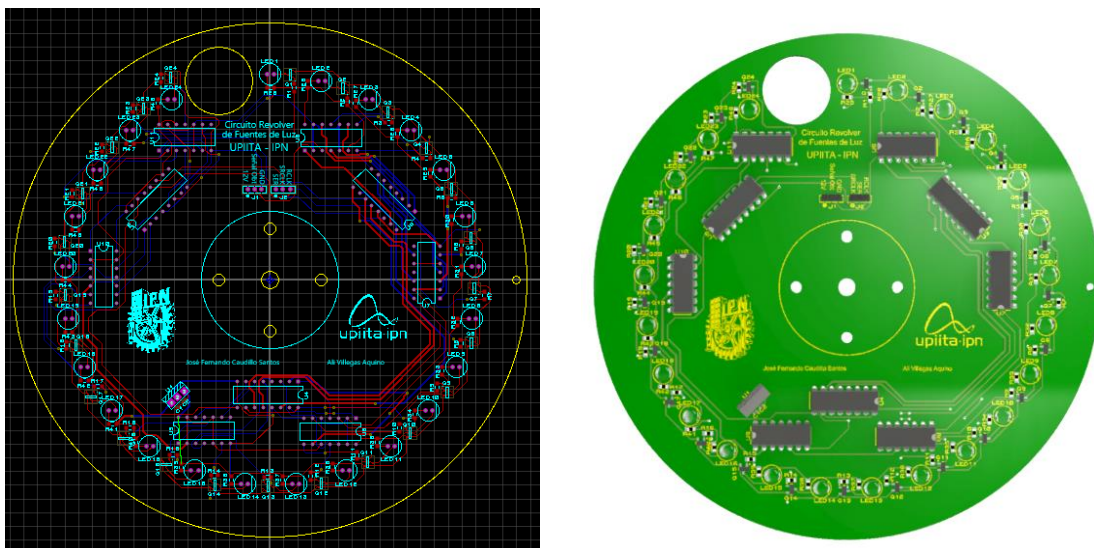


Figura 108. Diseño del PCB y Modelo del Revolver de Fuentes de Luz.

3.3.2.5 Espectrofotómetro y amplificador del sensor UV

El sensor UVM30A tiene una salida analógica de 1.2V máxima cuando se encuentra a una longitud de onda UV de 200nm con un índice UV de 11, al introducir este valor a un puerto analógico, que posteriormente utilizará el ADC analógico del Microcontrolador, este presenta una señal digital débil, lo cual se debe a dos motivos: primeramente la tensión de referencia del ADC del microcontrolador, ya que es de 3.3V porque está configurado a esos niveles lógicos; la segunda es que la tensión máxima del sensor es de 1.2V. Por lo tanto, se requerirá incrementar la tensión con un circuito amplificador no inversor como se muestra en la Figura 109.

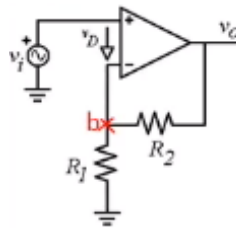


Figura 109. Circuito Amplificador No Inversor. [108]

De acuerdo al diagrama mostrado previamente, para un circuito amplificador no inversor se tiene que:

$$\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] [V_b] = \left[\frac{V_o}{R_2} \right] \quad (20)$$

Al considerar que:

$$(R, N) \rightarrow V_+ = V_- = V_b = V_i$$

Así, de la Ecuación (20) se puede obtener la siguiente fórmula:

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (21)$$

De las consideraciones realizadas previamente para el amplificador, se tiene que:

$$\begin{aligned} V_o &= 3.3V \\ V_i &= 1.2V \\ R_1 &= 1k\Omega \end{aligned}$$

Despejando R_2 de la Ecuación (21) y sustituyendo los valores previos se obtiene que:

$$R_2 = 1.75k\Omega$$

Simulando los valores obtenidos en Multisim[®], como se muestra en la Figura 110.

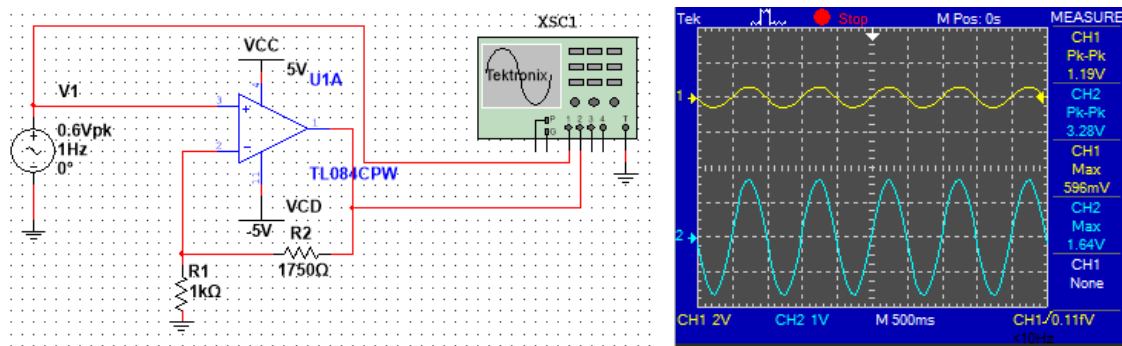


Figura 110. Simulación del amplificador para el sensor UV en Multisim[®].

Finalmente, la señal que obtenemos del sensor no presenta tensiones negativas por lo que no es necesario amplificarlo, en lugar de la configuración presentada anteriormente, se conecta a tierra y la resistencia de 1750Ω la reemplazamos por una resistencia comercial de 1.8kΩ. Cabe mencionar que esta configuración se utilizará para los dos sensores UV que realizan el proceso de nefelometría y turbidimetría.

Otra de las configuraciones que incluye este circuito es la conexión I₂C, para tener comunicación entre el microcontrolador (maestro) y los sensores espectrofotómetros (esclavos). Cada dispositivo esclavo dispone de una dirección que puede ser determinada por hardware, modificando uniones de soldadura o interruptores. [109]

Cada dispositivo conectado al bus debe tener una dirección única. En este protocolo de comunicación el maestro inicia la comunicación con los esclavos, y puede mandar o recibir datos de ellos. Los esclavos no pueden iniciar la comunicación. [109]

El bus I₂C, es síncrono, debido a que el maestro proporciona una señal de reloj, que mantiene sincronizados a todos los dispositivos del bus. El protocolo I₂C prevé dos resistencias de pull-up de las líneas a Vcc, las resistencias típicas son de 2.2kΩ a 10kΩ, esto implica que los flancos de subida de la señal sean más rápidos y se pueda comunicar a distancias superiores. [109]

El diagrama eléctrico que recibirá las señales analógicas amplificadas de los sensores UVM30A y establecerá la comunicación I₂C con los sensores AS7265x Spectral Triad, se puede apreciar en la Figura 111.

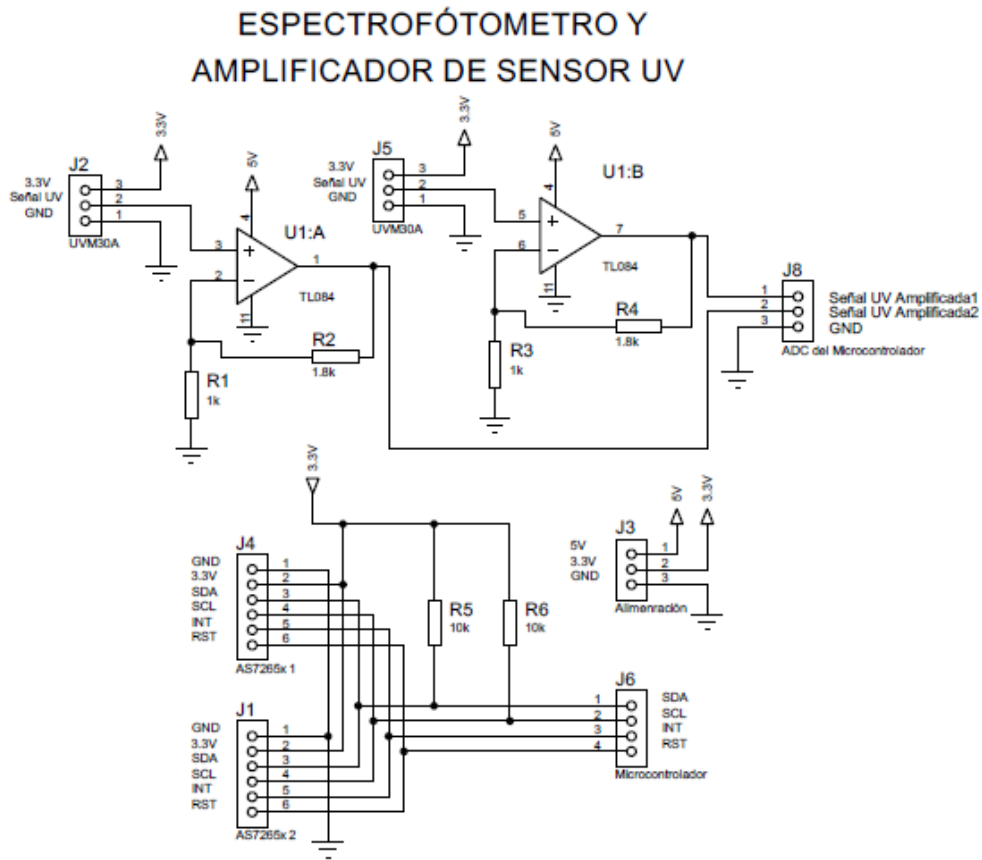


Figura 111. Diagrama esquemático del circuito amplificador del sensor UV y espectrofotómetro.

A continuación, se presenta el diseño del PCB, del circuito amplificador del sensor UV, y la conexión de la comunicación I₂C de espectrofotómetro, en la Figura 112.

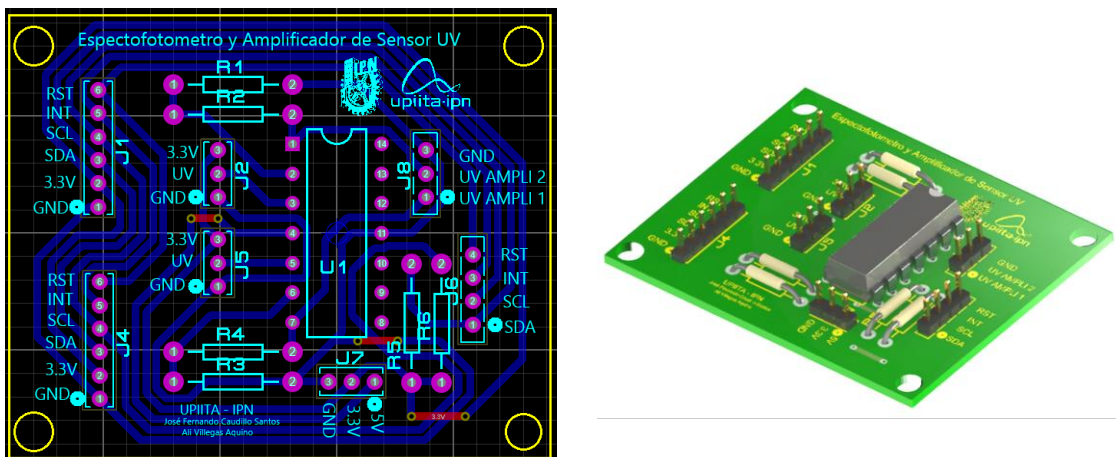


Figura 112. Diseño del PCB y Modelo 3D del Espectrofotómetro y Amplificador del Sensor UV.

3.3.2.6 Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV

Para tener el control del encendido y apagado de la lámpara UV, es necesario armar un circuito de potencia implementando un MOC (MOC3023) y un TRIAC (TIC226D), el primer elemento es necesario para aislar al microcontrolador y el circuito de alta potencia. El segundo elemento es el que cuando reciba la señal del MOC, en la parte de circuito de alta potencia, este dispara una señal por el Gate, cerrando el circuito de corriente alterna, encendiendo la lámpara UV. El tiempo de encendido se controla con el microcontrolador. En la Figura 113, se puede apreciar el diagrama eléctrico para el control del encendido de la lámpara UV.

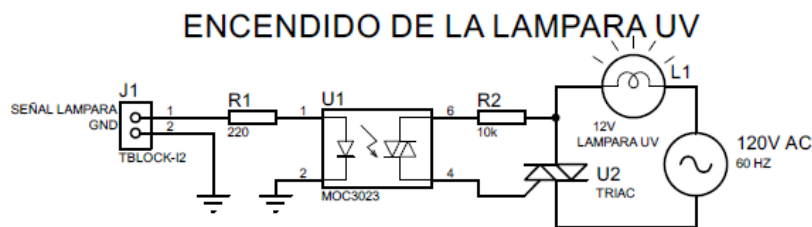


Figura 113. Diagrama esquemático de potencia del encendido de la lámpara UV.

A continuación, se presentan el diseño del PCB y el modelo en 3D de la placa de potencia para encender la lámpara UV.

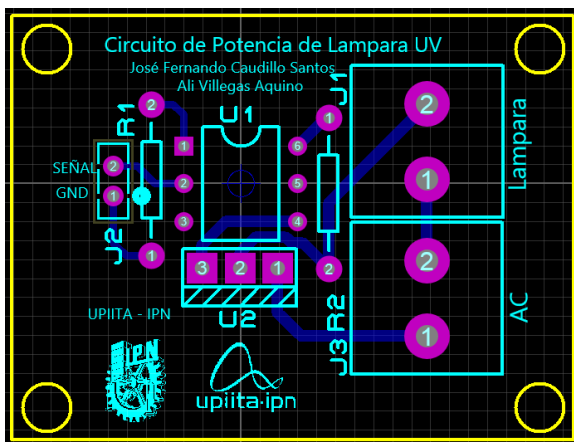


Figura 114. Diseño del PCB y modelo en 3D del circuito de potencia de encendido de la lámpara UV.

3.3.2.7 Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto

Este detector se implementa para conocer la posición inicial en el revolver de fuentes de luz, mientras el disco rote para encontrar la posición inicial haciendo pasar la luz por un barreno de 2mm de diámetro, cuando el fototransistor detecte la luz del infrarrojo, este será polarizado en la base, cerrando el circuito dejando pasar el flujo de tensión, enviando un uno lógico que significa que ha detectado la posición cero del disco revolver, para posteriormente llevar el control del disco con una cuenta de pasos.

También este circuito ayuda a la retroalimentación del control de velocidad del motor CD en lazo cerrado, que se utilizara para controlar el troceador mecánico, debido a que uno de los detectores de barrera, envía un tren de pulsos de la señal del fototransistor al microcontrolador y a su vez este calcula la frecuencia de obturación del sistema, para posteriormente con programación poderlo modular.

Finalmente, este circuito también incorpora un interruptor activo en alto que sirve para encontrar la posición del mecanismo de selección de sensores ópticos. El funcionamiento consiste en dejar un interruptor en la posición cero pieza, una vez que el sistema encienda buscara esta posición presionando con el soporte de los servomotores y sensores UV al botón, aquí es donde la configuración envía un pulso en alto al microcontrolador que indicara que ha encontrado la posición cero, y está listo para llegar a cualquier posición deseada implementando un contador de pasos.

En la Figura 115, se aprecia el diagrama eléctrico de las tres configuraciones, que funcionarán como señales de interrupción del microcontrolador.

DETECTOR DE BARRERA ACTIVO EN BAJO E INTERRUPTOR ACTIVO EN ALTO

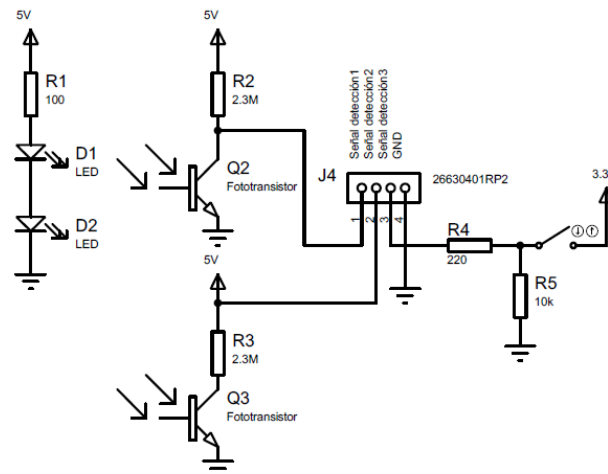


Figura 115. Diagrama esquemático del detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto.

Una vez conocido el diagrama eléctrico, se puede diseñar la placa de PCB con un modelo en 3D como se aprecia en la Figura 116 de este circuito.

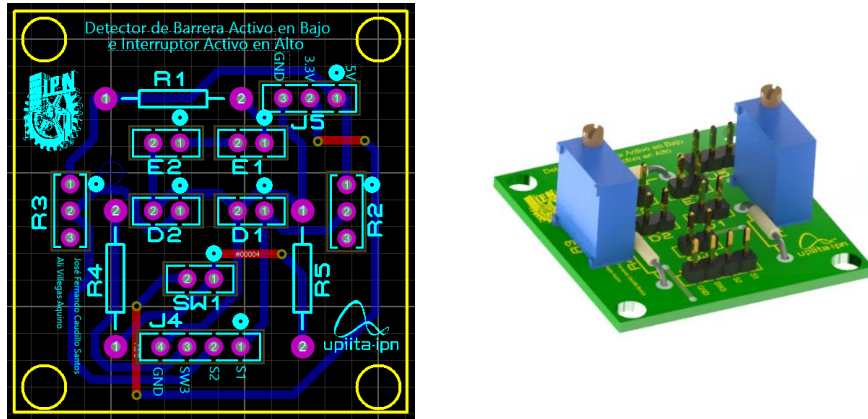


Figura 116. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto.

3.3.2.8 Circuito de PWM

Esta tarjeta será la encargada de transformar la señal de control PWM de baja amplitud y corriente débil en una señal PWM con mayor amplitud y suministro de corriente, del motor del trocador mecánico y los servomotores que controlaran la posición de los fotodiodos del sensor espectrofotómetro. Se observa en el esquemático de la Figura 117 que el PC817 es un opto acoplador de baja potencia, que su función primordial es convertir la señal PWM de 3.3V de amplitud a una señal PWM de 5V. Las salidas de este circuito serán conectadas directamente a los servomotores y al circuito de potencia del motor trocador.

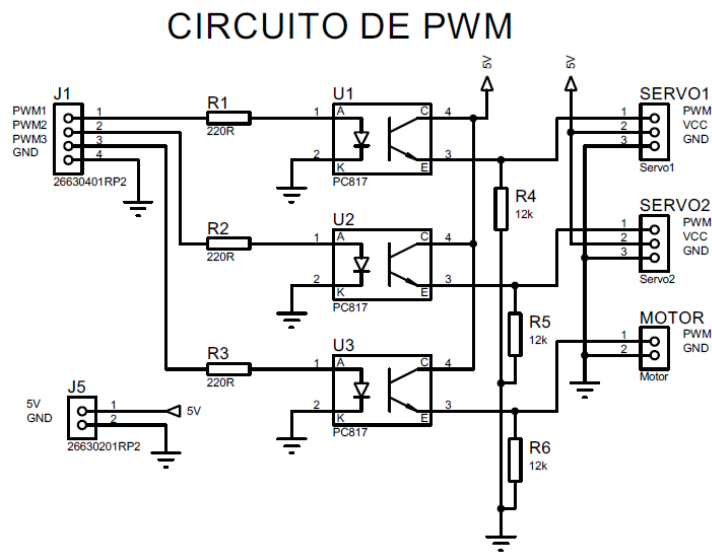


Figura 117. Diagrama esquemático de circuito PWM.

A continuación, se puede apreciar el diseño de la PCB, así como su modelo en 3D en la Figura 118.

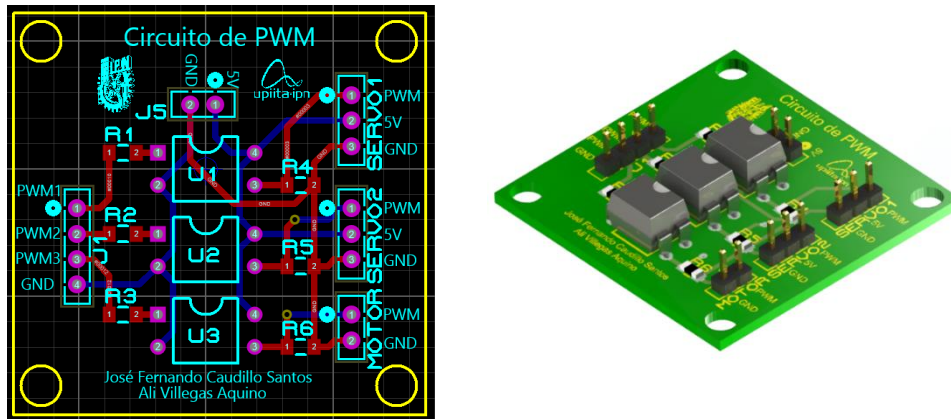


Figura 118. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito esquemático de circuito PWM.

3.3.2.9 Circuito de potencia del motor troceador

El circuito de potencia del motor troceador, está diseñado para controlar un motorreductor 5:1, en una sola dirección, esto debido a que importa la dirección de giro del motor, si no el control de la velocidad del motor, para poder obturar la señal con el disco troceador que estarán en el eje del rotor del motorreductor. Esta señal PWM, viene del circuito PWM que amplifica la señal que viene del microcontrolador. Este circuito implementara un control de un motor CD de velocidad en lazo cerrado. Para lograr esto se modulará un control PWM de velocidad para mitigar y tener el error mínimo durante el funcionamiento del troceador mecánico. En la Figura 119, se aprecia la configuración del puente H (L293), donde básicamente solo se utiliza un canal para la implementación del control en lazo cerrado.

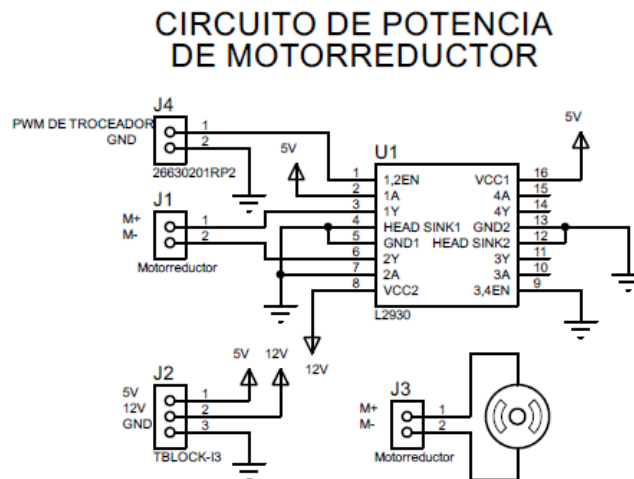


Figura 119. Diagrama esquemático del circuito de potencia del motor troceador.

En la Figura 120, se pueden ver el diseño del PCB así como una vista preliminar en 3D del circuito terminado.

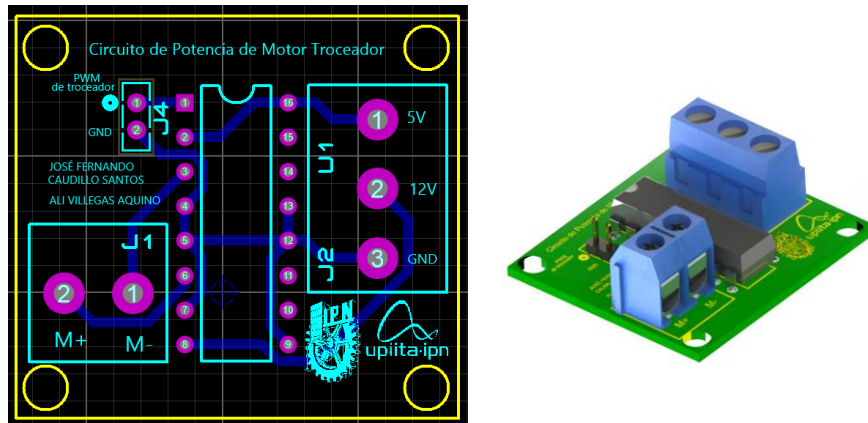


Figura 120. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de potencia del motor troceador.

3.3.2.10 Circuito de potencia del motor a pasos

Este circuito está diseñado para tener el control preciso de los pasos que realiza un motor, está pensado para motores de 200 pasos por vuelta y de consumo de corriente de 1.2 A por bobina. Debido a que el EasyDriver, posee esas características, además de que tiene una selección de la resolución del paso de medio paso, cuarto de paso, octavo de paso y dieciseisavo de paso, la desventaja es que a pasos muy cortos las bobinas pueden perder corriente y esto genera en una pérdida de torque en el eje del rotor.

Los pines que controla el microcontrolador son “Enable” que hace que todo el circuito integrado funcione, “Step” es por donde se envía una serie de pulsos, cada pulso representa a un medio paso que avanzara el motor, aquí es donde se lleva la cuenta de los pasos que ha recorrido el motor y “Dir” que indica el sentido de giro del motor, si los pasos incrementan o decremantan. Es recomendable utilizar motores a pasos bipolares ya que el driver está configurado para trabajar de preferencia con ellos.

En el circuito de la Figura 121, se puede ver que hay dos drivers que controlarán a dos motores a pasos, el motor que estará controlando la posición del revolver de fuentes de luz y el motor que estará controlando la posición del mecanismo de selección de los sensores ópticos.

CIRCUITO DE MOTOR A PASOS

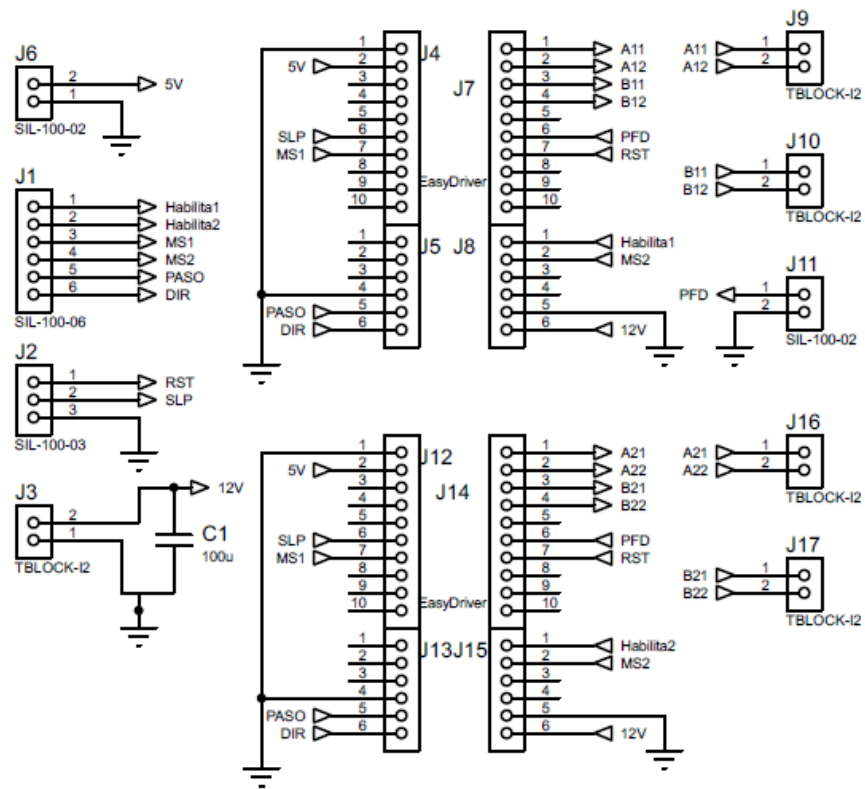


Figura 121. Diagrama esquemático del circuito de potencia de los motores a pasos

Una vez conocido el diagrama eléctrico, se diseñó el PCB y su modelo en 3D, que se aprecia en la Figura 122.

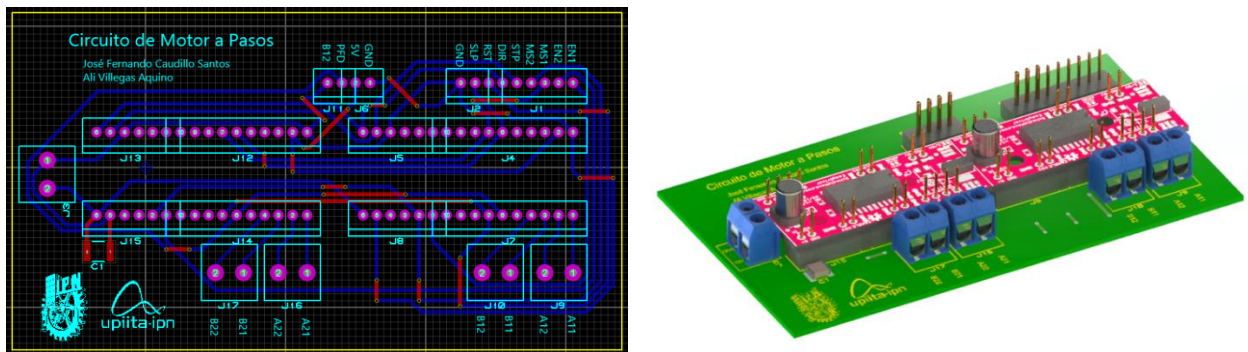


Figura 122. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de potencia de motores a pasos.

3.3.2.11 Circuito de transductor ultrasónico

El circuito electrónico que se muestra en la Figura 123, es el diseño electrónico del circuito para el control del transductor ultrasónico. Este circuito se comunica con el microcontrolador por medio del protocolo SPI, por lo que hay que seleccionar el esclavo con el que se va a comunicar el microcontrolador, el reloj y estar al tanto con el envío y recepción de datos.

Los registros que se configuran por medio del protocolo SPI para el TDC1011, son valores de configuración como tiempos, numero de pulsos y amplificadores de señal. Para el caso del TDC7200 son valores de tiempos de espera y la obtención del tiempo en bits por medio del protocolo SPI.

Una vez que todos los parámetros de comunicación y del transductor han sido, modificados y configurados. Se procede a habilitar ambos circuitos, para que el TDC7200 envíe el pulso de TRIGGER al TDC1011, enviando las señales al transductor ultrasónico y regresando los bits de Inicio y Llegada (Start y Stop), que entraran al TDC7200 e internamente este calculara el tiempo entre ambos bits, finalmente lo enviara por protocolo SPI al microcontrolador.

Estas configuraciones de tiempo dependen del oscilador de cristal interno o externo. Además de poseer pines para implementación de filtros si es que se requiere y pines para medir el pulso de Inicio y Llegada con el osciloscopio.

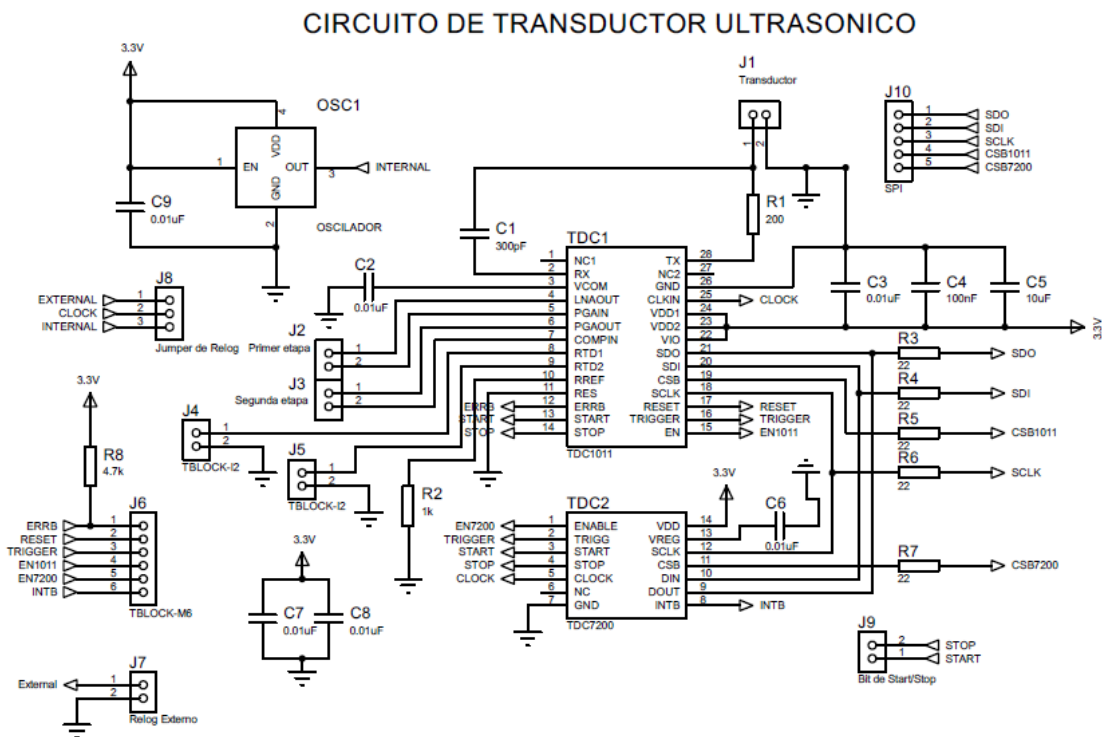


Figura 123. Diagrama esquemático del circuito controlador del transductor ultrasónico.

El oscilador seleccionado es uno de 12MHz de montaje superficial que trabaja a niveles lógicos CMOS, teniendo una alimentación operativa de 3.3V, debido a que, si utilizamos el divisor de tiempo que trae por defecto el integrado TDC1011 que tiene un valor de 8, podemos excitar al transductor ultrasónico con una frecuencia de 1.5MHz y tener una buena amplitud y señal del eco, para que el integrado lo pueda detectar con facilidad y enviar el bit de “stop” en el momento preciso.

Una vez que se conocer el valor del oscilador de cristal que será la señal de reloj para ambos integrados y que se sabe las conexiones electrónicas, se procede a realizar la placa de PCB y el modelo en 3D del circuito que se puede ver en la Figura 124.

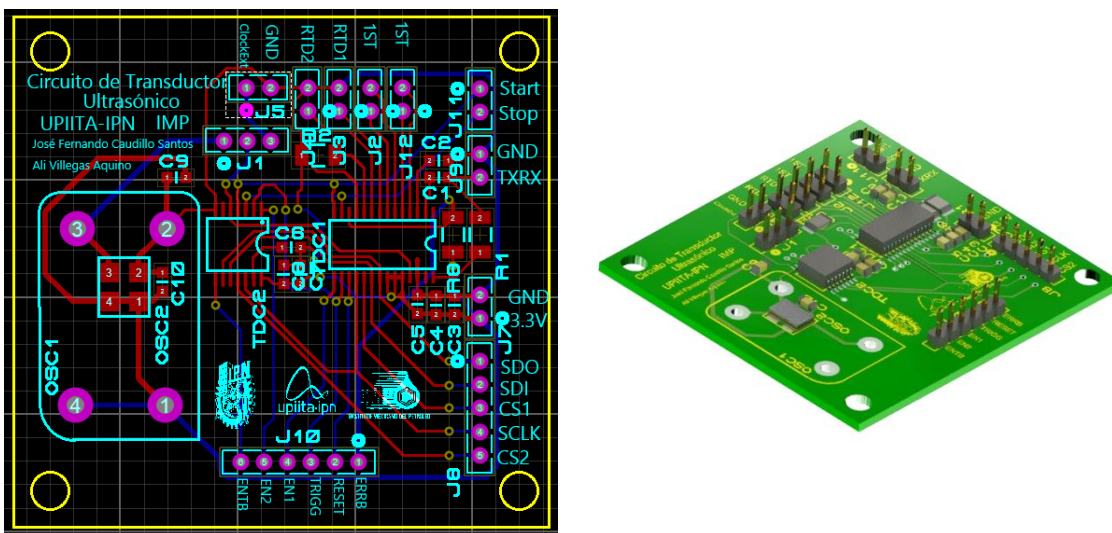


Figura 124. Diseño del PCB y Modelo en 3D del circuito de transductor ultrasónico

3.3.2.12 Circuito de acondicionamiento para los sensores ópticos (fotodiodos)

El acondicionamiento de los sensores ópticos se encuentra dividida en 2 etapas antes de la que señal de interés pueda ingresar a un Convertidor Analógico Digital (ADC), según se observa en el Diagrama de Bloques de la siguiente Figura.

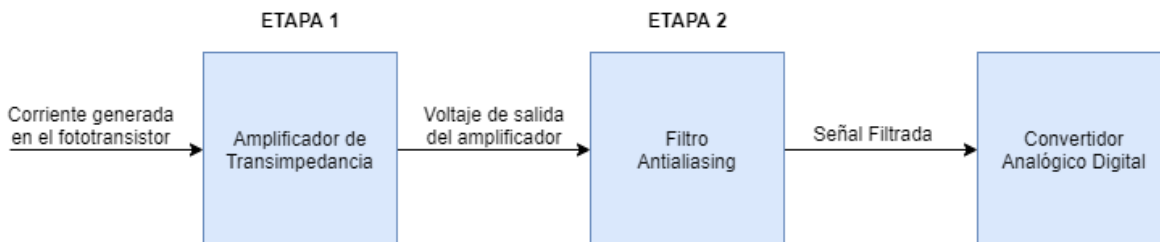


Figura 125. Etapas del circuito de acondicionamiento de los sensores ópticos.

La primera etapa consiste en un Amplificador de Transimpedancia, el cual es un circuito con una etapa de amplificación de la corriente que se genera por la luz emitida en el fotodiodo para convertirla en voltaje. La segunda etapa en la implementación de un circuito Antialiasing, el cual es un filtro activo pasa-bajas que limita la banda de las señales de entrada por debajo de la mitad de la frecuencia de muestreo antes de ser ingresada al convertidor analógico-digital (ADC).

- **Amplificador de transimpedancia**

Se comenzará con el diseño del circuito para el Amplificador de Transimpedancia que se puede observar en la Figura 126. El cual está compuesto por un amplificador operacional y una resistencia de retroalimentación conectada a su entrada inversora. El fotodiodo está conectado de tal manera que la corriente que se genere por los cambios de luz provoque que aumente el voltaje en la salida del amplificador. Además, para corregir problemas de ruido en la señal se conecta un condensador C_1 en paralelo a la resistencia de retroalimentación.

En ausencia de cualquier corriente de fotodiodo, la salida del amplificador intentará establecerse en el voltaje aplicado a la entrada no inversora. Si la entrada no inversora está conectada a tierra, el voltaje de salida es idealmente 0V, sin embargo, este no puede alcanzar 0V porque también es el valor de la fuente de alimentación negativa lo que provocaría que se sature el amplificador. Por tanto, para corregir este problema, se agrega un divisor de tensión de la alimentación positiva para polarizar la entrada no inversora y alejarla de la alimentación negativa de este. [110]

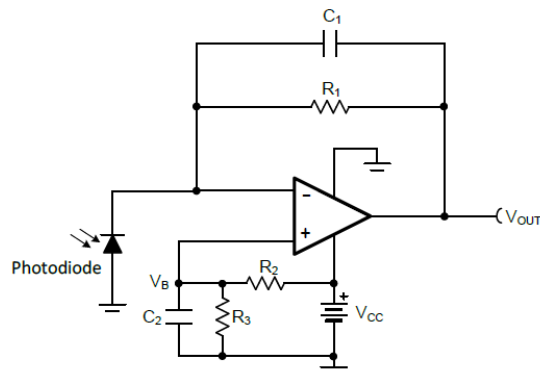


Figura 126. Conexión de un fotodiodo al amplificador de transimpedancia. [110]

La función de transferencia, que relaciona la corriente que entra por la entrada inversora y hace que el voltaje de salida cambie, está definida de acuerdo a la siguiente ecuación: [110]

$$V_{OUT} = i_{PD}R_1 + V_B$$

$$V_{OUT} = i_{PD}R_1 + V_{CC} \frac{R_3}{R_3 + R_2} \quad (22)$$

El fotodiodo que se seleccionó para el diseño es el BPW34 [111], cuyos parámetros se observan en la siguiente Tabla.

Tabla 33. Parámetros del Fotodiodo BPW34. [111]

Parámetro	Condición	Símbolo	Mínima	Típica	Máxima	Unidad
Capacitancia del diodo	$V_R = 0V$	C_J		70		pF
Corriente de Luz Inversa	$E_e = 1mW/cm^2$	I_{PD}	40	50		μA

Se comenzará por calcular la resistencia de retroalimentación R_1 , la cual está definida por la siguiente Ecuación:

$$R_1 = \frac{V_{OUT(MÁX)} - V_{OUT(MIN)}}{I_{IN(MÁX)}} \quad (23)$$

Considerando los parámetros de la Tabla 33, y proponiendo para el amplificador una salida máxima de +3.2V y una mínima de 0.1V, se tiene que:

$$R_1 = \frac{3.2V - 0.1V}{50\mu A} = 62k\Omega$$

En el caso del capacitor de retroalimentación C_1 , su valor se determina a partir de la expresión que define la Frecuencia de Corte de un Filtro:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (24)$$

Para este circuito se consideró una frecuencia máxima de 500kHz. Despejando C_1 de la Ecuación (37) y sustituyendo los parámetros indicados, se tiene lo siguiente:

$$C_1 \leq \frac{1}{2\pi R_1 f_c} \leq \frac{1}{2\pi(62k\Omega)(500kHz)} \leq 5.134pF$$

De esta manera, al mantener el capacitor de retroalimentación por debajo del valor calculado se asegura que el circuito cumple con los requisitos de la frecuencia máxima establecida, de esta forma el valor elegido es de $C_1 = 4.7pF$. El próximo paso a realizar es calcular el valor de R_2 , R_3 y C_2 .

Debido a que el fotodiodo actúa como un diodo de polarización inversa en CD, la ganancia de la terminal no inversora es 1. Por lo que, cuando la corriente del fotodiodo es 0A, $V_{OUT} = V_B$. Para prevenir que la señal de salida del amplificador se sature se aplicará un voltaje de polarización de 100 mV que venga de la alimentación positiva. Por lo que, la polarización de la entrada no inversora puede expresarse como un divisor de tensión:

$$V_B = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (25)$$

Enseguida se calcula el valor de R_2 despejándolo de la Ecuación (38). Proponiendo el valor de $R_3 = 220\Omega$ y considerando una polarización de 100mV y que la alimentación del Amplificador es de +5V, se tiene que:

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{V_B} R_3 - R_3 = \frac{5V}{100mV} (220\Omega) - 220\Omega = 10.78k\Omega$$

Finalmente, se calcula el valor para el condensador C_2 colocado en paralelo con R_3 que sirve principalmente para reducir la contribución de ruido del divisor y de la fuente de alimentación. Se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_2 (R_2 \parallel R_3)} \quad (26)$$

Despejando C_2 de la Ecuación (39) y sustituyendo los parámetros, se tiene que:

$$C_2 \leq \frac{1}{2\pi (R_2 \parallel R_3) f_c} \leq \frac{1}{2\pi (220\Omega \parallel 10.78k\Omega) (500kHz)} \leq 68.62\mu F$$

De esta manera, al mantener este capacitor por debajo del valor calculado se asegura la frecuencia generada sea lo suficientemente baja para evitar que el ruido de la fuente de alimentación pase a la salida. Por lo cual el valor seleccionado es de $C_2 = 1mF$.

A continuación, se muestra la simulación realizada para verificar el comportamiento del Amplificador de Transimpedancia en el software Multisim[®].

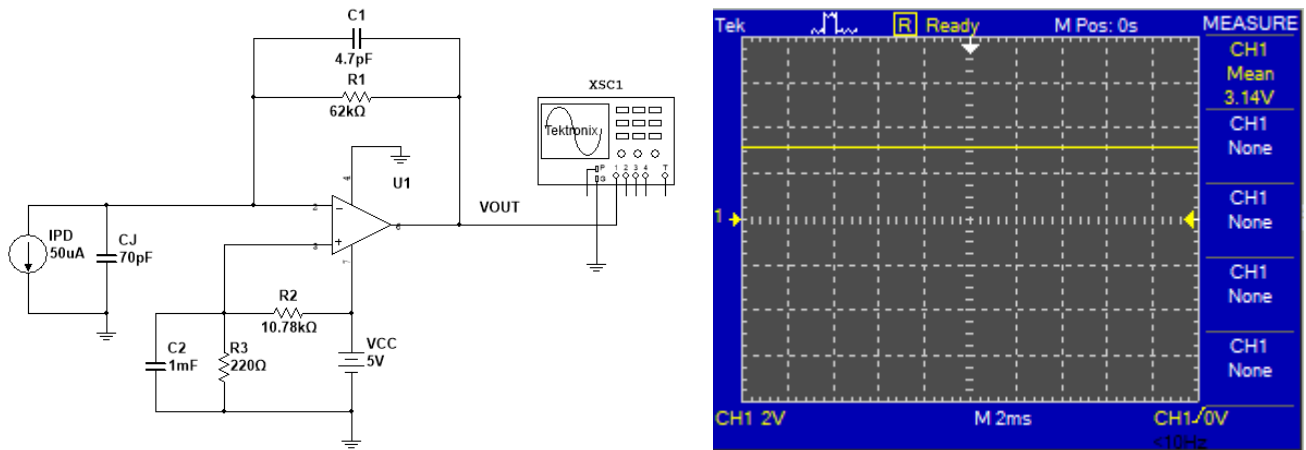


Figura 127. Simulación realizada para verificar el comportamiento del Amplificador de Transimpedancia.

Para realizar esta simulación se utilizó el modelo equivalente para un Fotodiodo (Fuente de corriente en paralelo con un capacitor). En ella se observa que utilizando la corriente máxima del diodo ($I_{PD} = 50\mu A$) se obtiene una salida del amplificador de 3.14V. Para completar la verificación del filtro, se realizó un barrido con la fuente de corriente (0 a $50\mu A$), con lo cual se obtuvo la siguiente la gráfica característica.

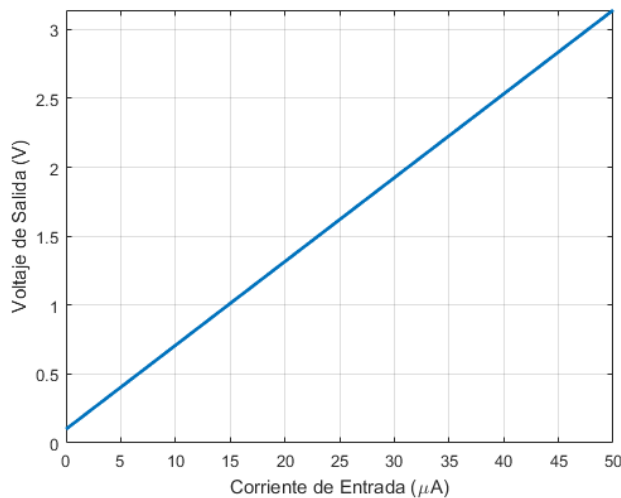


Figura 128. Voltaje de salida del amplificador para una corriente de entrada de 0 a $50\mu A$.

De la gráfica se observa que para una corriente de entrada cero, el voltaje de salida simulado es 100mV y para una corriente de entrada de $50\mu A$ el voltaje de salida es 3.14V. Con lo cual se verifica el correcto funcionamiento de este amplificador en los límites que se establecieron en el diseño.

- **Filtro Antialiasing**

Por lo general, el Aliasing, es un error en la reconstrucción de una señal análoga, una vez que ha sido digitalizada, que se produce cuando un sistema adquiere datos a una tasa de muestreo insuficiente. Si una señal contiene frecuencias mayores que la frecuencia de Nyquist, estas se mezclan con la frecuencia de muestreo del convertidor, lo que hace que diferentes señales se mezclen y sean indistinguibles entre sí (se solapan unas a otras) durante el muestreo.

La solución para evitar el “aliasing” es limitar la banda de las señales de entrada por debajo de la mitad de la frecuencia de muestreo del convertidor analógico-digital (ADC), lo cual se logra mediante el uso de filtros analógicos pasa-bajas conocidos como filtros antialiasing. [112] A continuación, se realizará el diseño del filtro Antialiasing para la adquisición del voltaje de salida del amplificador de transimpedancia.

El primer paso para diseñar un filtro antialiasing es determinar el ancho de banda (BW) necesario en el sistema de adquisición ya que este establecerá la frecuencia de corte del filtro pasa-bajas. Para este diseño se ha considerado la Frecuencia Máxima Obturación que puede generar el troceador mecánico y eléctrico, por lo que el ancho de banda de adquisición será:

$$BW = 1.1kHz$$

Una vez determinado el ancho de banda del sistema de adquisición, se puede fijar la frecuencia de muestreo. Según establece el teorema de Nyquist, la frecuencia mínima de muestreo teórica es el doble del ancho de banda del sistema de adquisición. Sin embargo, este límite teórico no es una buena frecuencia de muestreo en la práctica, ya que un filtro antialiasing realizable no puede atenuar las señales por encima de la frecuencia de corte de forma tan abrupta como la de un filtro teórico perfecto. Esto significa que la tasa de muestreo debería ser mayor. [112] En este caso, se considerará una Frecuencia de Muestreo f_s seis veces mayor al ancho de banda de adquisición, por lo que se tiene lo siguiente:

$$f_s = BW * 6 = 1.1kHz * 6 = 6.6kHz$$

A continuación, se requiere calcular la Frecuencia de Nyquist, la cual es la mitad de la frecuencia de muestreo y corresponde a la mayor frecuencia que puede ser digitalizada en la señal ya que en este valor se alcanza la banda de atenuación BS (Band Stop), con esto se tiene que: [112]

$$f_N = F_s/2 = 6.6kHz/2 = 3.3kHz$$

Enseguida, se determinará la relación señal a ruido SNR (Signal Noise Relation) que es el valor máximo de atenuación que puede tener la señal en la banda de transición. Esta se encuentra definida por la siguiente expresión: [113]

$$SNR = 6.02 * N + 1.76dB \quad (27)$$

Donde N corresponde al número de bits del sistema de adquisición de datos. Dado a que en este diseño se estará usando el Convertidor Analógico-Digital de la tarjeta de desarrollo ChipKIT uC32, el valor que le corresponde es de $N = 10$. De esta manera sustituyendo en la Ecuación (40) se tiene que:

$$SNR = 6.02 * 10 + 1.76dB = 61.96dB$$

Este es el valor máximo de la atenuación de la señal en la banda de transición, sin embargo, alcanzar este nivel de atenuación, aumenta en demasía el orden del filtro, por lo que se considerará para cuestiones prácticas un SNR de $50dB$.

Calcular el factor de seguridad es para garantizar que la atenuación de la señal a $-3dB$ sea en un valor cercano a la frecuencia de la banda de interés, por lo que se tiene que: [113]

$$f_{seg} = 1.18 * BW = 1.18 * 1.1kHz = 1.298kHz \approx 1.3kHz$$

Este es el valor a introducir como frecuencia de corte $f_{seg} = f_c$ del filtro.

La última etapa de diseño es determinar la topología del filtro pasa-bajas. Hay muchas configuraciones posibles para estos filtros, pero los más utilizados son los de Butterworth, Chebyshev y Bessel. Para este caso se seleccionó la topología Butterworth en células de Sallen Key.

Para determinar el orden del filtro a utilizar se ha considerado que todas las señales superiores a $1.3kHz$ (f_c) deben ser atenuadas por lo menos en $-50dB$ (SNR) por la frecuencia de Nyquist (f_N) de $3.3kHz$. Apoyándose del Asistente para el diseño de Filtros Analógicos de Analog Devices [114], se ha definido que un filtro de 6° orden es el adecuado, ya que atenúa las señales fuera de banda a $-48dB$. De esta manera, la Función de Transferencia en Amplitud del comportamiento de este filtro se observa en la siguiente Figura.

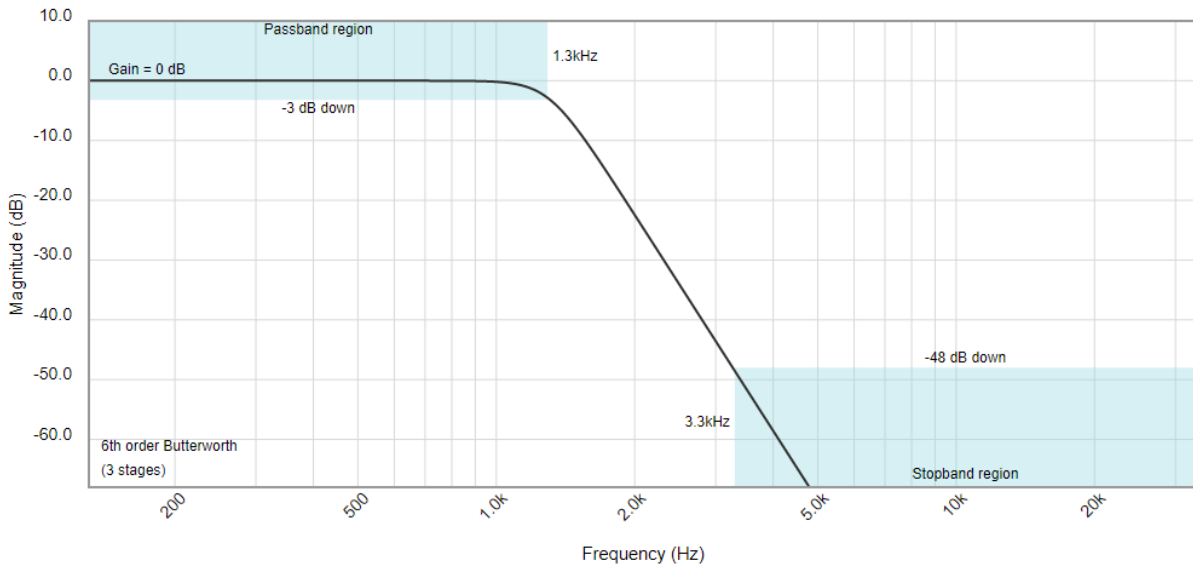


Figura 129. Función de Transferencia teórica para el Filtro Pasabajas de 6° orden de Butterworth. [114]

Enseguida, se muestran los cálculos realizados para el diseño del filtro pasa-bajas de 6° orden Butterworth con configuración Sallen Key cuya frecuencia de corte es de $f_c = 1.3\text{kHz}$ y una ganancia unitaria. En la siguiente Figura se muestra un diagrama básico para este filtro:

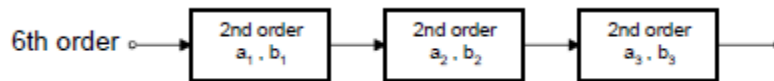


Figura 130. Diagrama a bloques de un Filtro de 6° orden de Butterworth.

Siendo un filtro es de orden superior, los coeficientes proporcionados por Texas Instruments para un filtro de 6° orden utilizando la Topología Butterworth son: [115]

Tabla 34. Coeficientes para un filtro de 6° de Butterworth. [115]

	a_i	b_i
Filtro 1	$a_1 = 1.9319$	$b_1 = 1$
Filtro 2	$a_2 = 1.4142$	$b_2 = 1$
Filtro 3	$a_3 = 0.5176$	$b_3 = 1$

La Función de Transferencia para una sola etapa de un filtro pasa-bajas de segundo orden usando la Topología Butterworth es:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + a_i s + b_i s^2} \quad (28)$$

En donde A_0 es la ganancia deseada para el filtro de la etapa y los valores de a_i y b_i , corresponden a los mostrados en la Tabla 34.

Ahora, mediante la Topología Sallen-Key se tiene que el Diagrama Eléctrico de un filtro pasa-bajas para un filtro de ganancia unitaria es el que se muestra en la siguiente Figura.

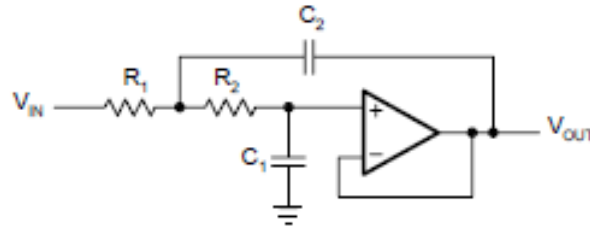


Figura 131. Filtro Pasa-bajas Sallen-Key de ganancia unitaria.

La Función de Transferencia para el circuito de ganancia unitaria mostrada en la Figura 131 es:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_c C_1 (R_1 + R_2) s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad (29)$$

Por tanto, comparando los coeficientes de las Funciones de Transferencia de las Ecuaciones (28) y (29), se obtienen las siguientes relaciones:

$$A_0 = 1 \quad (30)$$

$$a_1 = \omega_c C_1 (R_1 + R_2) \quad (31)$$

$$b_1 = \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 \quad (32)$$

Proponiendo que los valores para las resistencias sean $R_1 = R_2 = R$ para las Ecuaciones anteriores, los capacitores se pueden calcular despejando las Ecuaciones (36) y (37):

$$C_1 = \frac{a_1}{\omega_c (R_1 + R_2)} \quad (33)$$

$$C_2 = \frac{b_1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C_1} \quad (34)$$

En la siguiente Tabla se muestran los parámetros calculados para cada etapa del filtro de 6° orden, proponiendo los valores de las resistencias y calculando los capacitores que se requieren.

Tabla 35. Parámetros calculados realizados para el filtro pasa-bajas de 6° orden.

	<i>Parámetros propuestos</i>	<i>Parámetros calculados</i>
Primera Etapa Filtro 1: Pasa-bajas Sallen Key	$a_1 = 1.9319$ $b_1 = 1$ $f_c = 1.3kHz$ $R_{1A} = 10k\Omega$ $R_{2A} = 10k\Omega$	$\omega_c = 2\pi(1.3kHz) = 2600\pi$ $C_{1A} = \frac{2600\pi}{1.9319(2600\pi(10k\Omega + 10k\Omega))} = 11.82nF \approx$ $C_{2A} = \frac{1}{(2600\pi)^2(10k\Omega)(10k\Omega)(11.82nF)} = 12.68nF$
Segunda Etapa Filtro 2: Pasa-bajas Sallen Key	$a_2 = 1.4142$ $b_2 = 1$ $f_c = 1.3kHz$ $R_{1B} = 10k\Omega$ $R_{2B} = 10k\Omega$	$\omega_c = 2\pi(1.3kHz) = 2600\pi$ $C_{1B} = \frac{2600\pi}{1.4142(2600\pi(10k\Omega + 10k\Omega))} = 8.65nF$ $C_{2B} = \frac{1}{(2600\pi)^2(10k\Omega)(10k\Omega)(8.65nF)} = 17.32nF$
Tercera Etapa Filtro 3: Pasa-bajas Sallen Key	$a_3 = 0.5176$ $b_3 = 1$ $f_c = 1.3kHz$ $R_{1C} = 10k\Omega$ $R_{2C} = 10k\Omega$	$\omega_c = 2\pi(1.3kHz) = 2600\pi$ $C_{1C} = \frac{2600\pi}{0.5176(2600\pi(10k\Omega + 10k\Omega))} = 3.16nF$ $C_{2C} = \frac{1}{(2600\pi)^2(10k\Omega)(10k\Omega)(3.16nF)} = 47.43nF$

* Para cuestiones prácticas, se recomienda aproximar los valores calculados para los capacitores a comerciales.

En la siguiente Figura se muestra el diseño final del filtro de 6° orden con sus etapas parciales calculadas en la Tabla 35, respetando la configuración del Amplificador Operacional que establece la Topología Sallen-Key.

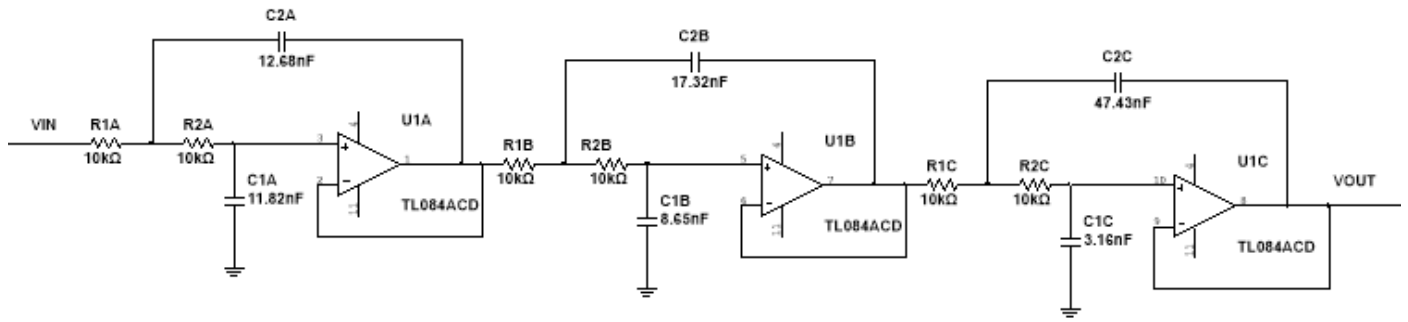


Figura 132. Diagrama Eléctrico del Filtro de 6° orden de Butterworth con células Sallen-Key.

A continuación, se muestra la simulaciones realizada para verificar el comportamiento del Filtro diseñado, para el cual se obtuvieron los siguientes resultados en el software Multisim®.

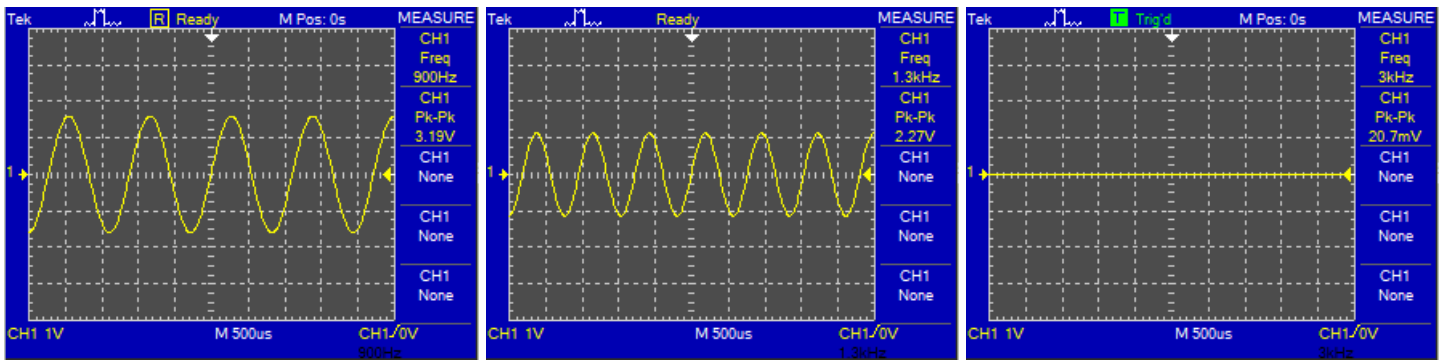


Figura 133. Simulación realizada para verificar el comportamiento del Filtro: a) $f=900\text{Hz}$, b) $f=1.3\text{kHz}$, c) $f=3\text{kHz}$.

En estas simulaciones se puede verificar que para señales cuyas frecuencias están por debajo de la f_c de 1.3kHz , presentan una ganancia máxima. Cuando la señal de entrada tiene como frecuencia 1.3kHz , que corresponde a la de corte, esta se atenúa -3dB por lo cual su ganancia se reduce a 0.707 de la ganancia máxima. Finalmente, cuando las señales tienen una frecuencia por arriba de la f_c , estas se atenúan -48dB por década lo cual ocasiona que mientras más se acercan a la frecuencia de Nyquist estás se irán atenuando hasta eliminarse.

- **Integración del circuito de acondicionamiento compuesto por el amplificador de transimpedancia y el filtro antialiasing**

Finalmente, en la siguiente Figura se muestra el circuito final que corresponde al acondicionamiento de un fotodiodo. Este se encuentra compuesto por los circuitos diseñados previamente que son el Amplificador de Transimpedancia cuya salida se conecta a la entrada del Filtro Antialiasing, y la salida de este es la que se encontrará conectada al Convertidor Analógico Digital de la ChipKIT uC32.

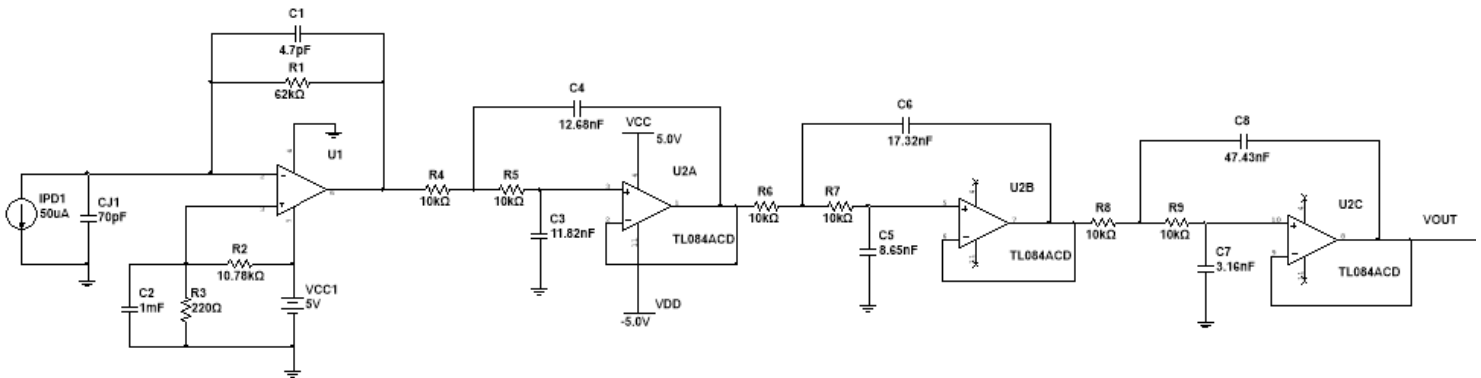


Figura 134. Circuito de acondicionamiento para los sensores ópticos (fotodiodos).

Como se puede observar, este es el diseño a seguir para realizar el acondicionamiento de la señal de cada uno de los fotodiodos a utilizar, sin embargo, por cuestiones de simplificación del diseño de los circuitos y que los fotodiodos comerciales no abarcan todos los rangos que se requieren para el sistema de nefelometría óptica, se ha encontrado un sensor inteligente (SparkFun AS7265x) que tiene integrado todo este acondicionamiento e incluye diferentes fotodiodos que permiten realizar lecturas en el espectro UV, VIS e IR. La composición de los fotodiodos que este sensor incluye se puede observar en la siguiente Figura.

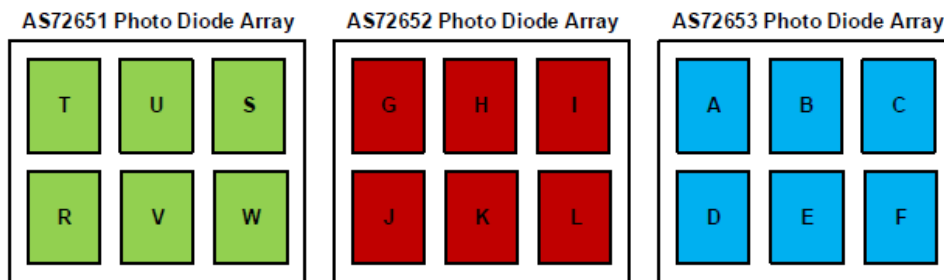


Figura 135. Matrices de los fotodiodos AS7265x.

Cada uno de los fotodiodos está compuesto por 6 canales, en los cuales cada uno implementa un filtro óptico de banda estrecha para extraer luz de una longitud de onda específica del espectro electromagnético. Esto hace que los canales tengan una característica de filtro gaussiano con un ancho de banda de ancho (FWHM) de 20nm, por lo que el comportamiento de cada canal se puede observar en la siguiente Figura.

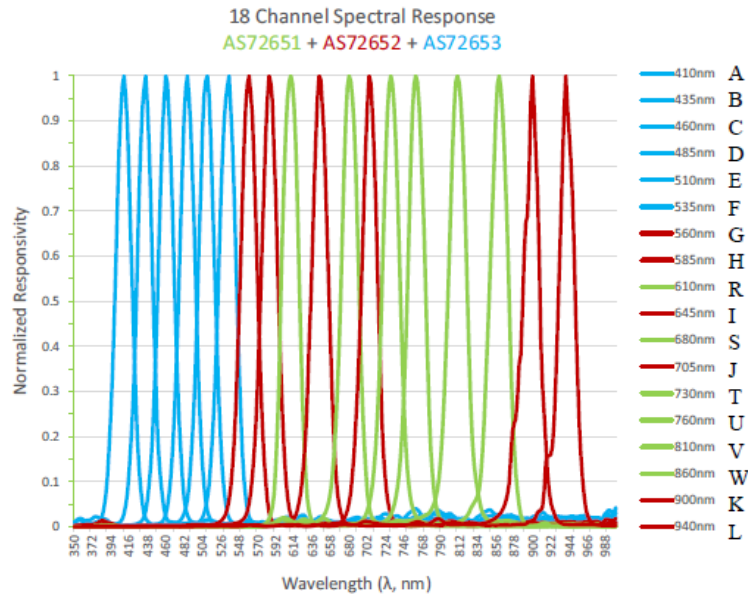


Figura 136. AS7265x 18 canales de respuesta espectral.

A partir de las respuestas de los fotodiodos que este sensor ofrece ante diferentes longitudes de onda, se puede comprobar que es el adecuado para los usos que se le dará en el sistema nefelométrico y con esto se reduce la tarea de diseñar un acondicionamiento para cada uno de los diferentes fotodiodos que se pudieron haber implementado en su lugar.

3.4 Sistema de análisis y procesamiento

3.4.1 Unidad de procesamiento

3.4.1.1 Microcontrolador

- Tarjeta de desarrollo ChipKIT uC32

El chipKIT[®] uC32 se basa en la popular plataforma de creación de prototipos de hardware de código abierto Arduino[®] y agrega el rendimiento del microcontrolador Microchip PIC32.

Cuenta con una interfaz de puerto serie USB para la conexión al IDE y se puede alimentar a través de USB o una fuente de alimentación externa.

La placa uC32 aprovecha el potente microcontrolador PIC32MX340F512. Este microcontrolador cuenta con un núcleo de procesador MIPS de 32 bits que funciona a 80Mhz, 512K de memoria de programa flash y 32K de memoria de datos SRAM. El uC32 puede programarse utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino. Además, el uC32 es totalmente compatible con el avanzado IDE de Microchip MPLAB[®]. El uC32 es fácil de usar y adecuado tanto para principiantes como para usuarios avanzados que experimentan con sistemas electrónicos y sistemas de control integrados. [105]



Figura 137. ChipKIT uC32.
[105]

- Precio: \$971.87
- 42 pines de E/S disponibles
- Dos LED de usuario
- 12 entradas analógicas
- Voltaje de funcionamiento de 3.3V
- Frecuencia de funcionamiento 80Mhz
- Corriente de funcionamiento típica de 75mA
- Voltaje de entrada de 7V a 15V (recomendado)
- Voltaje de entrada de 20 V (máximo)
- Rango de voltaje de entrada analógica de 0V a 3.3V

3.4.2 Unidad de análisis

3.4.2.1 Software intérprete

A continuación, en la Figura 138 se muestra un bosquejo de la Interfaz Gráfica que permitirá al usuario realizar los ajustes deseados para realizar las mediciones nefelométricas y acústicas, verificar el funcionamiento del sistema y observar los resultados obtenidos de la muestra analizada.

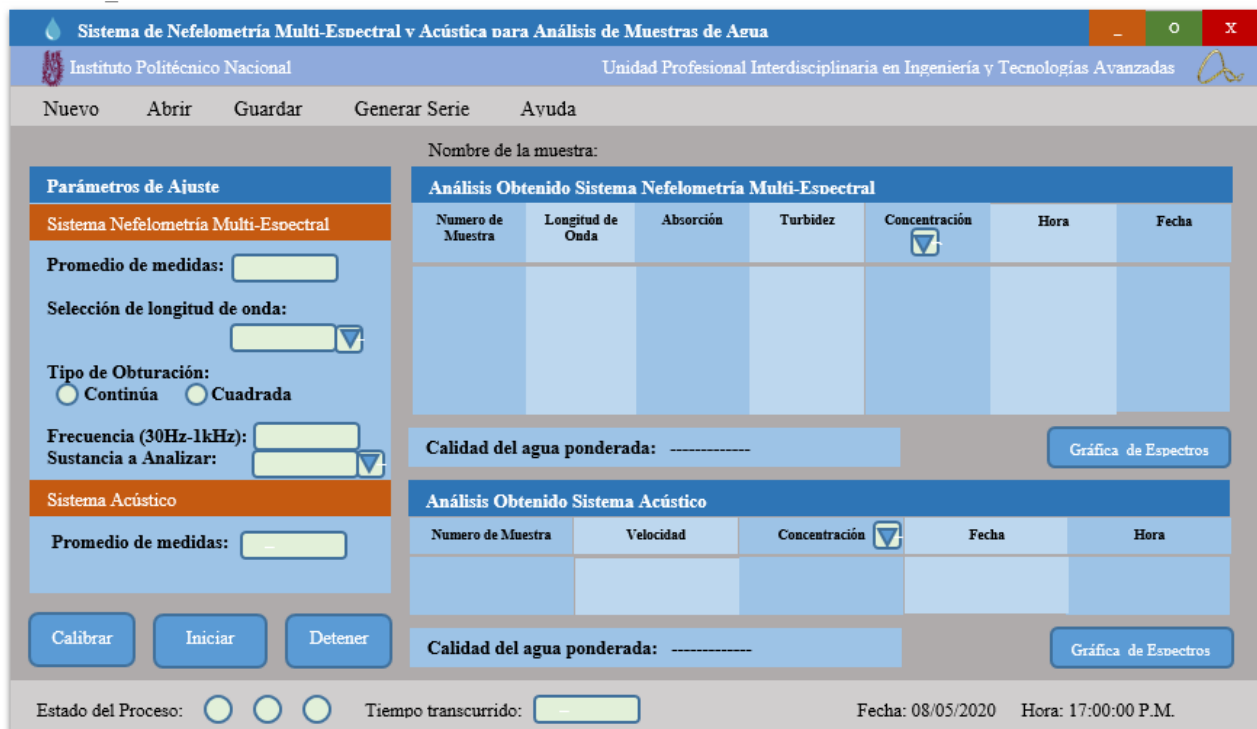


Figura 138. Bosquejo de la Interfaz Gráfica.

De acuerdo con la interfaz gráfica mostrada anteriormente, el usuario podrá seleccionar las configuraciones de las mediciones del sistema nefelométrico y acústico, el usuario podrá hacer las pruebas de concentración y turbidez de las curvas de calibración de las sustancias almacenadas previamente, pero también tendrá la oportunidad de agregar nuevas sustancias. Finalmente el software intérprete aplicará las ecuaciones necesarias, para mostrar distintas unidades de concentración, los resultados de absorción y turbidez y tomar decisiones para que evalúe la calidad del agua de manera cualitativa, si se realizan varias medidas el programa será capaz de mostrar gráficas, longitud de onda contra absorción o bien la variable que el usuario requiera para el sistema acústico de manera similar mostrara la velocidad del sonido medida y la concentración, de igual manera se podrá generar una gráfica con las variables que el usuario determine. Una que se tiene varias mediciones, el programa tendrá la opción

de analizar los resultados obtenidos y representarlos en una serie de tiempo para posteriormente aplicarles una transformada de Fourier y mostrar las frecuencias de contaminación de interés.

La interfaz gráfica tendrá comunicación constante de envío y recepción de datos con el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación UART, que sale de un puerto USB de una computadora o laptop y llega al puerto USB del microcontrolador.

El programa está pensado para desarrollarse en lenguaje #C sobre la plataforma de C Sharp para poder obtener la calidad de gráficos a la que se desea llegar. Pero no obstante está abierta la posibilidad de implementar módulos de programación que requiera el software interprete en otros lenguajes de programación o librerías que podrían facilitar algunas tareas como almacenar datos, exportar y leer ficheros, mostrar gráficas y realizar operaciones matemáticas más complejas.

3.5 Sistema mecánico

Dentro del siguiente apartado se describe el diseño y consideraciones para cada uno de los elementos mecánicos que se estarán utilizando para el funcionamiento del sistema de nefelometría y acústica.

3.5.1 Selección de materiales

Algunos de los parámetros que se consideraron para la selección de la estructura y de la carcasa se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Parámetros considerados para la selección de materiales.

Propiedades	Características
Fisicoquímicas	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la corrosión
Mecánicas	<ul style="list-style-type: none">• Maleabilidad• Tenacidad
Económicas	<ul style="list-style-type: none">• Precio• Accesibilidad
Estéticas	<ul style="list-style-type: none">• Color

Es importante aclarar que debido a que todos los materiales que están en contacto directo con los contenedores de agua, estos deben cumplir con la características de ser resistentes a la

corrosión en caso de que suceda un accidente por algún derrame que pueda perjudicar el ciclo de vida del material.

En la Tabla 37 se encuentran las características principales de los materiales seleccionados para la estructura y la carcasa, tomando en cuenta las necesidades principales del sistema.

Tabla 37. Materiales y características de los materiales seleccionados para la carcasa y la estructura.

Pieza	Material	Características
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil de aluminio IPS estructural 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a la corrosión • Es un material ligero. • Fácil mecanizado. • Es un material soldable. • Periodo corto entre el diseño y la fabricación. • Ahorro en costos de ingeniería, fabricación y montaje. • Cumple con los requerimientos de carga y rigidez. • Permite cambios futuros. • Apariencia estética. [116]
Base de la estructura y soportes para componentes del prototipo	<ul style="list-style-type: none"> • Acrílico 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia al impacto. • Resistencia química. • Resistencia a la intemperie. • Estabilidad dimensional [117]
Paredes de la Estructura y divisiones entre las secciones de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Láminas de PVC espumado (Sintra) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo peso. • Resistente a la intemperie. • Excelente resistencia a los agentes químicos. • Resistente al impacto. • Baja absorción de agua • Fácil de transformar • Aislante térmico. [118]
Tapa	<ul style="list-style-type: none"> • Acero inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena ductilidad. • Resistencia a la oxidación. • Elasticidad. • Dureza. • Resistencia al desgaste. • Resistencia a temperaturas extremas • Limpieza, cualquier elemento fabricado con acero inoxidable es fácil de limpiar. [119]

3.5.2 Estructura general y chasis

La principal función de la estructura es la de albergar a todos los subsistemas y elementos del sistema nefelométrico y acústico. Es importante destacar que el peso del sistema no es muy elevado, pero sí requiere buena rigidez en su base para evitar problemas de deformación, sobre todo en el centro de este que es en donde se concentrará la mayor cantidad de elementos y por ende de esfuerzos. Por lo cual, para el diseño de la estructura se consideraron los siguientes factores:

- Que soporte el peso de todos los elementos que componen al sistema de nefelometría y acústica.
- Sea lo más compacto posible.
- Fácil de manufacturar y permita posibles cambios a futuro.
- Costo.

Basándose en las propuestas que ofrece el manual Parker Hannifin Corporation [116] para diseño de estructuras, se ha propuesto utilizar un perfil estructural IPS 20x20 para la estructura. La vista isométrica se puede observar en la siguiente Figura.

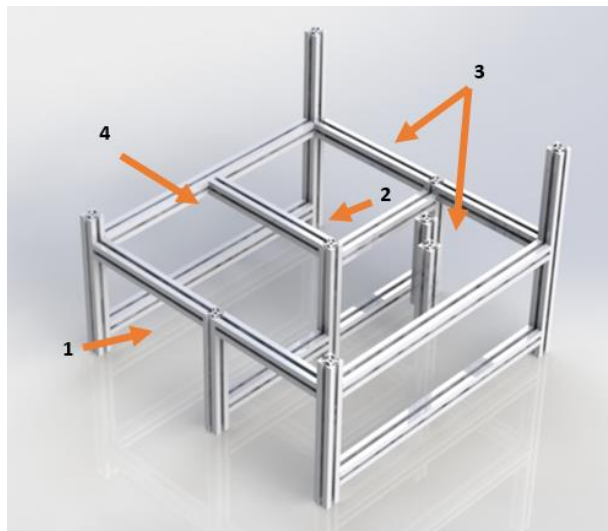


Figura 139. Vista Isométrica de la estructura del prototipo.

La estructura diseñada se puede observar que ésta se encuentra dividida en 4 partes importantes que son:

1. Sección para el suministro de alimentación.
2. Sección para las tarjetas electrónicas.
3. Sección para los elementos del sistema de nefelometría.
4. Sección para los elementos del sistema acústico.

Dado a que se requiere que la base sea rígida, en la Figura 139 se han colocado un soporte con perfiles en el centro de esta para que pueda absorber los posibles esfuerzos que se acumulen en dicho punto y sea un soporte para la lámina que funja como base de los componentes. Cabe aclarar que las uniones entre los perfiles estarán hechas con uniones de tipo L diseñados específicamente para este tipo de perfiles.

En lo que respecta a la base la carcasa se ha considerado utilizar una lámina de acrílico de 6mm oscuro, debido a sus características rígidas y su resistencia al impacto que tiene, dado a que esta pieza necesita soportar el peso de todos los elementos del prototipo y a la vez reduzca el paso de la luz. Ahora, para realizar las separaciones entre cada una de las secciones mencionadas anteriormente, se realizará mediante láminas de PVC espumado debido a 2 principales características. La primera ya que es un material fácil de cortar y la segunda por sus propiedades que tiene de no ser muy brillante lo cual es una gran ventaja para el sistema de nefelometría en donde se busca contener cualquier entrada de luz externa al interior para evitar problemas en las posibles lecturas a realizar. En el caso de las paredes de esta, se utilizarán de igual manera láminas de PVC espumado de color negro por ser un material fácil de cortar y que a pesar de ser frágil ofrece buena rigidez. El ensamble de la base de la carcasa y de las paredes entre secciones y de la carcasa se pueden observar a continuación.

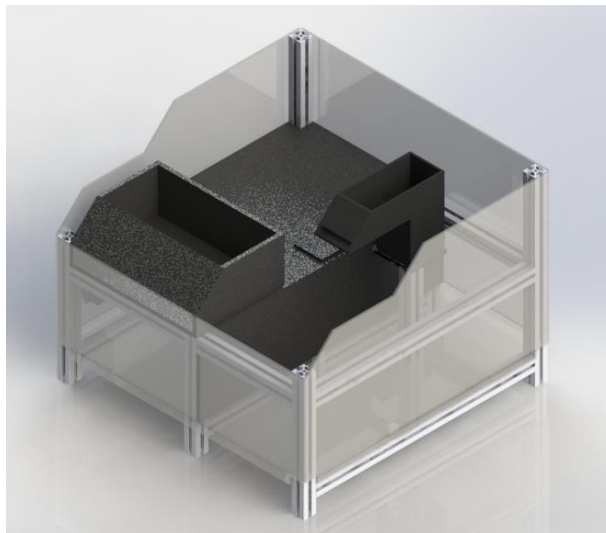


Figura 140. Vista isométrica de la estructura general y la división de las secciones del prototipo.

Finalmente, se explicará la composición de la tapa de la carcasa. Esta se compone por 3 elementos: tapa principal, tapa del sistema de nefelometría y por último la del acústico. En el caso de la placa principal se propuesto diseñarla de acero inoxidable debido a su buena resistencia a la oxidación y la corrosión, requisitos indispensables en el sistema. Cabe destacar que esta cuenta con una bisagra en la parte trasera para permitir la rápida manipulación de los componentes. En el caso de las otras 2 tapas, éstas estarán hechas igualmente de PVC, debido a su manipulación y cuyo propósito consiste en cubrir a las

muestras de agua que se ingresen al sistema y sobre todo obstruir la entrada de la luz en el sistema de nefelometría. El diseño final de la estructura se puede observar en la Figura 141.

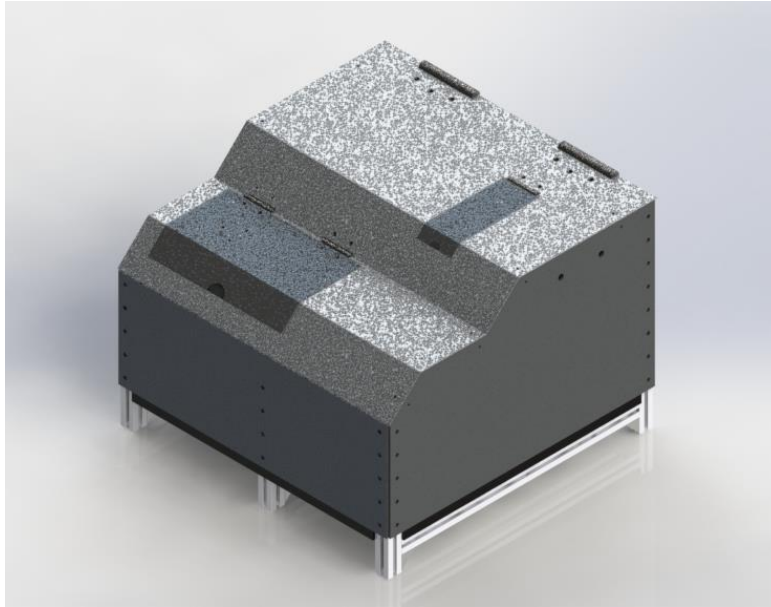


Figura 141. Vista isométrica de la Estructura General.

3.5.3 Revolver de fuentes de luz

El propósito del revolver de fuente de luz consiste en la implementación de un control de posición utilizando un motor a pasos, para lograr los cambios entre de las diferentes fuentes de luz, de esta manera podemos ofrecer al usuario una mayor gamma de longitudes de onda y para obtener un mayor número de medidas, sobre la misma muestra.

El funcionamiento consiste en sincronizar la posición de una fuente de luz con el encendido de dicha fuente de luz, para lograr esto, el disco principal está hecho de fibra de vidrio lo que implica que las pistas, fuentes emisores de luz, transistores, compuertas y el resto de componentes electrónicos que se utilizan para el control del encendido y obturación eléctrica de cada fuente de luz que se muestra en la Figura 101, Figura 103 y Figura 107, se encuentran en el mismo disco. El disco mide 15cm de diámetro, y las fuentes de luz están colocadas a 6cm desde el centro, el disco cuenta con 24 fuentes de luz divididas en un ángulo de 14.4 grados entre cada una, cuenta con un barreno grande por donde pasará la luz UV de la lámpara como se muestra en la Figura 142.

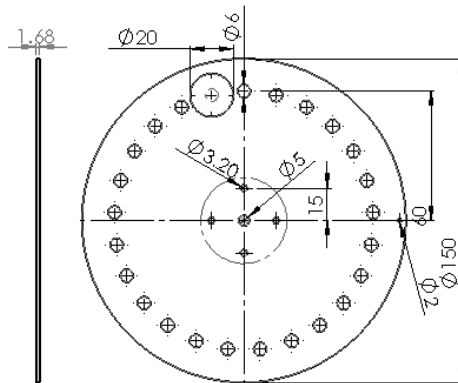


Figura 142. Plano del disco revolver de leds.

Para lograr establecer y conocer la posición primero se busca utilizando un diodo led y un fototransistor el barreno de 2mm de diámetro que esta justamente a 7.2cm desde el centro, se busca esta muesca haciendo rotar con pasos completos el motor a pasos, cabe mencionar que es vital que el punto cero, tiene que estar fijo y orientado con un paso del motor a pasos, un vez que el programa haya encontrado la referencia de inicio, este empezará a correr un programa de conteo de pasos, para saber en qué fuente de luz estamos posicionados, aquí se sabrá la posición del ángulo recorrido debido a la cuenta que se lleva y la configuración de octavos de paso entre paso y paso que nos ofrece el driver que se implementara.

El revolver de las fuentes de luz se constituye, de un motor a pasos, un anillo de conectores, bujes de montaje universal y las fuentes de luz a controlar. Es necesario un anillo de conectores, debido a que el mecanismo revolver estará en constante rotación por el cambio de posición de fuente de luz o “longitud de onda”, si no se aplicara un anillo de conectores, los cables se pudieran atascar y obstruir la rotación, interfiriendo con el buen funcionamiento del giro del revolver. El modelo y las partes del mecanismo del revolver de las fuentes de luz se muestran en la Figura 143.

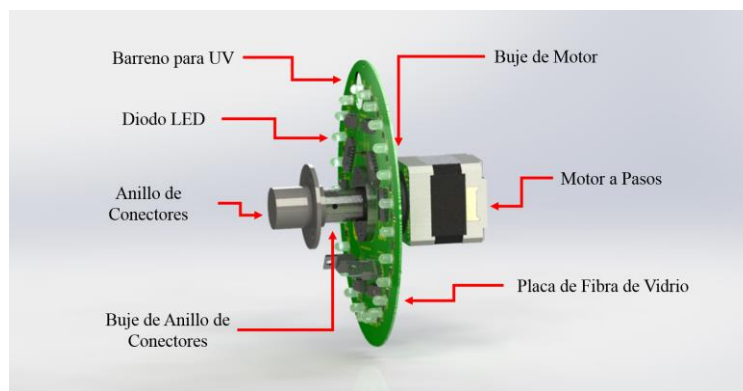


Figura 143. Mecanismo Revolver de fuentes de luz. Realizado en Solid Works.

El rotor del anillo de conectores estará fijo al buje frontal por medio de un perno. En la Figura 144, se aprecia el barreno del buje por donde saldrá los cables del anillo de conectores que vienen de su rotor, y serán conectados a los headers del revolver de fuentes de luz.

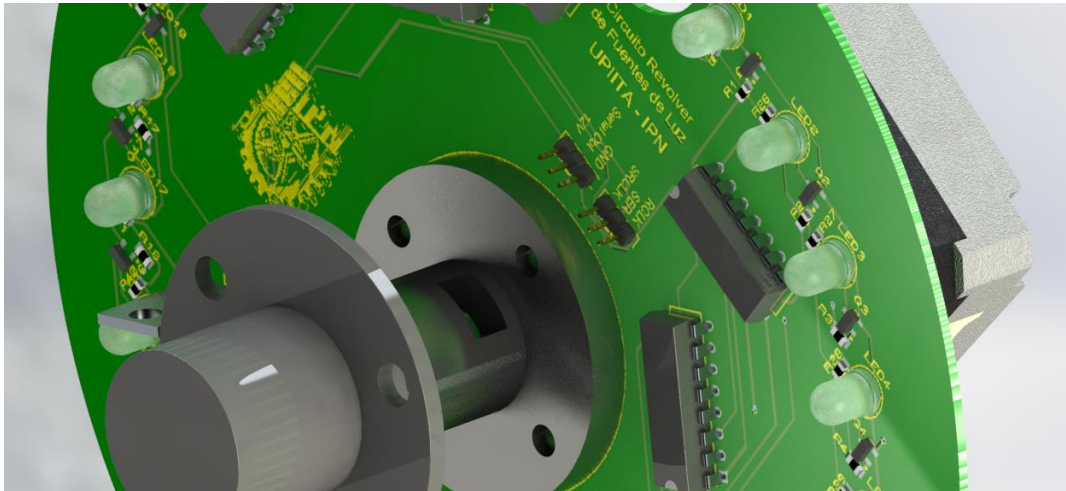


Figura 144. Barreno por donde pasara los cables del anillo de conectores a los headers del disco revolver.

Para llegar a la posición de cada fuente, la configuración del driver del motor a pasos se calibra a medios pasos, esto para tener 400 pasos por giro y así aumentar la precisión de la posición de cada fuente de luz. Si el driver está configurado a medios pasos entonces entre paso y paso existen 0.9° de separación, y como son 25 fuentes de luz en el revolver que están separadas a 14.4° , dividiendo el ángulo entre fuentes de luz y el ángulo entre medios pasos tenemos la distancia entre fuente y fuente se encuentra a 16 pasos. Y no hay necesidad de compensar, ya que en todas las medidas, el aumento es el mismo, 16 pasos.

El buje del motor que se utilizara para el ensamble de la pieza se muestra a continuación en la Figura 151, el buje del slip ring se manufacturara en torno.

 <p>Figura 145. Buje de aluminio de montaje universal. [120]</p>	<p>Buje de aluminio de montaje universal Pololu para eje de 5mm, agujeros M3 [120]</p> <ul style="list-style-type: none">• Precio: \$177.46• Material: Aluminio• Tamaño: 19mm de diámetro x 5mm de espesor• Peso 3.2g• Diámetro del eje: 5mm• Tamaño del orificio de montaje: M3
---	--

3.5.4 Revolver del sensor espectrofotómetro

Este revolver solo realizara 3 posiciones, el propósito fundamental de este mecanismo es posicionar cada sensor del espectrofotómetro con la ventana óptica de la probeta, para lograr esto se programarán tres anchos de pulso PWM para llegar a 30°, 90° y 150° respectivamente como se muestra en la Figura 146.

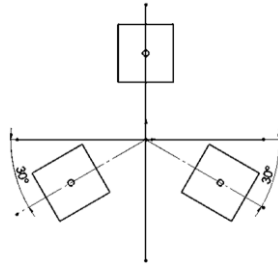


Figura 146. Posición de los sensores del espectrofotómetro

Para lograr este movimiento y cambio de posiciones utilizamos el servomotor SG90 PRO, ya que, variando el ancho de pulso de un PWM, podemos llegar a diferentes posiciones, el ciclo del PWM debe tener una duración de 20ms con una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de 4.8V a 5V. Los anchos de pulso que se programaran para llegar a los ángulos indicados anteriormente son: para 30° el ancho de pulso debe de ser de 1.17ms, para 90° el ancho de pulso debe de ser de 1.5ms y para 150° el ancho de pulso será de 1.83ms. Las partes del mecanismo revolver de sensor espectrofotómetro se muestran en la Figura 147.

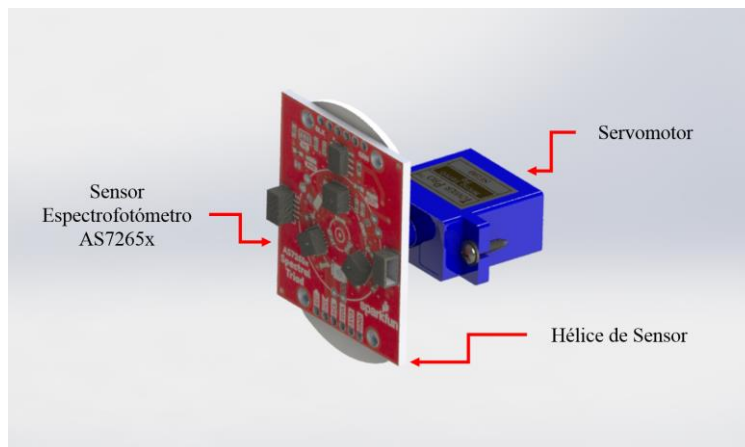


Figura 147. Montaje del sensor espectrofotómetro sobre el servomotor.

Como se observa la posición de 90° no alcanza la ventana óptica, para que ese sensor pueda llegar a la posición correcta, el mecanismo de selección de sensores ópticos complementara el movimiento de la posición.

3.5.5 Troceador mecánico

El propósito del troceador mecánico consiste en cortar la luz de las fuentes que no se pueden modular eléctricamente a diferentes frecuencias. El funcionamiento del troceador mecánico consiste en la implementación de un control de velocidad en lazo cerrado, debido a que con un led infrarrojo y un fototransistor mediremos la frecuencia a la que el dispositivo está obturando la luz, y por la computadora ingresaremos la frecuencia. Las partes del troceador mecánico se pueden apreciar en Figura 148.

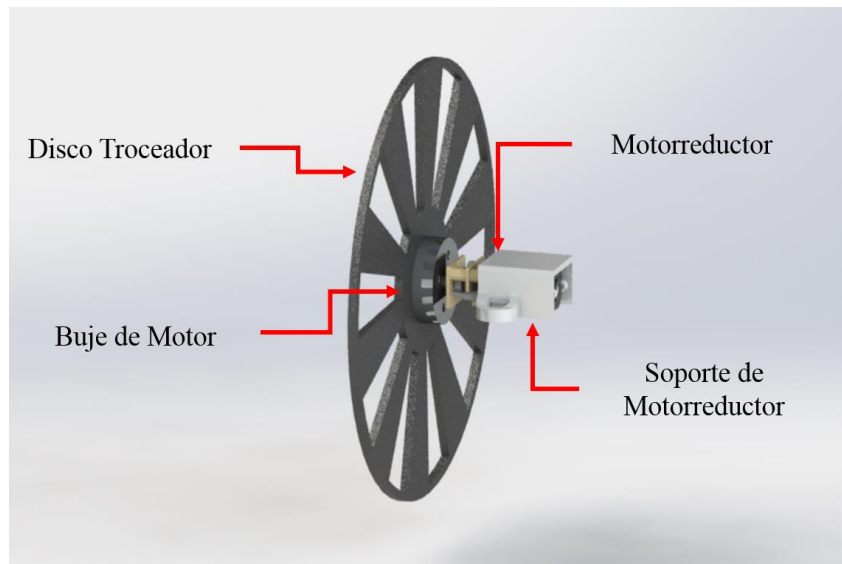


Figura 148. Mecanismo de troceador mecánico

Se conoce que el disco obturador cuenta con 10 divisiones por revolución, el motorreductor elegido gira a una velocidad máxima de 6800 revoluciones por minuto. Entonces se tiene que:

$$\left(6800 \frac{rev}{min}\right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) = 113.33 \frac{rev}{seg}$$

Si se multiplica $113.33 \frac{rev}{seg}$ por los 10 pulsos que da el troceador por vuelta, se obtiene que:

$$\left(113.33 \frac{rev}{seg}\right) \left(10 \frac{pulso}{rev}\right) = 1133.33 \text{ Hz}$$

Por lo que 1133.33 Hz sería la frecuencia máxima de obturación utilizando la velocidad máxima del motor con un PWM de 255 y un disco troceador de 10 divisiones. La frecuencia mínima, la obtenemos si consideramos que el PWM es de 1 entonces:

$$\left(\frac{1 \times 6800 \text{ rpm}}{255}\right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) \left(10 \frac{\text{pulso}}{\text{rev}}\right) = 4.44 \text{ Hz}$$

Se nota en el cálculo anterior el aumento por cada unidad de PWM, se incrementará en 4.44 Hz, por lo que queda claro que el troceador mecánico no se le podrá ingresar la frecuencia deseada, por lo que el sistema de control lo tiene que aproximar y tratar de llegar a la frecuencia ingresada en el sistema. Por ejemplo, si ingresamos una frecuencia de 250Hz, la señal digital de PWM sería de 56.25, pero como el microcontrolador se programa con números enteros el PWM lo redondeará a 56, si hacemos el cálculo la frecuencia al final estará obturando el troceador mecánico a 248.89 Hz, 1.11 Hz menos. Implementando un controlador PID de velocidad en lazo cerrado, es muy posible que el error se reduzca aún más controlando la velocidad del PWM.

El buje que se utilizara para fijar el eje del motorreductor con el disco troceador se muestra en la Figura 151.



3.5.6 Mecanismo de selección de los sensores ópticos

El propósito del mecanismo de selección de sensores ópticos es permitir la implementación de un control de posición utilizando un motor a pasos, para lograr el posicionamiento de los diferentes sensores de luz en la ventana óptica diseñada para la celda de cuarzo y que de esta manera se puede realizar la lectura adecuada según la fuente de luz que se encuentre emitiendo.

- **Tornillo de Transmisión de Potencia y Tuerca**

Por lo general, los tornillos de potencia son implementados para diversas aplicaciones, en este sentido se estará utilizando como un elemento para realizar la elevación del soporte del mecanismo.

El principio de funcionamiento que rige el mecanismo del tornillo de potencia es sencillo, dado a que puede ser considerado como un cuerpo cilíndrico, sobre el que se enrolla un plano inclinado formando los filetes de la rosca del tornillo [122]. Por tanto, el Diagrama de Cuerpo Libre para el movimiento de ascenso y descenso del tornillo se muestra en la Figura 150.

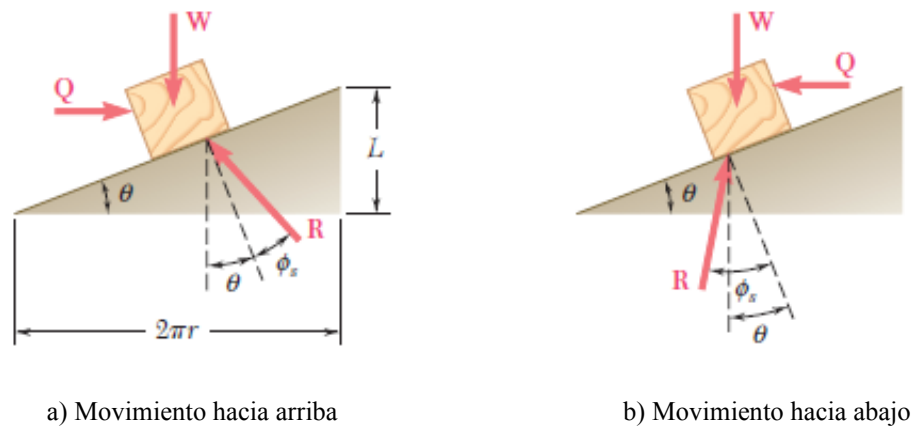


Figura 150. Análisis de un tornillo como un bloque y un plano inclinado. [123]

Donde: W = Carga ejercida por las fuerzas axiales que actúan sobre el tornillo

Q = Fuerza necesaria para vencer la fuerza de rozamiento

R = Reacción de la rosca de la base

L = Distancia que avanza el tornillo en una vuelta

θ = Ángulo de avance

ϕ_s = Ángulo de fricción

r = radio primitivo del tornillo

Para el caso del ascenso de la carga, inciso a), se observa que el ángulo de fricción se toma igual a ϕ_s puesto que se presume que la carga será levantada a través de una serie de golpes pequeños sucesivos. Para bajar la carga se debe aplicar la fuerza mostrada en el inciso b).

Es importante destacar que si el ángulo de fricción ϕ_s es mayor que el ángulo de avance θ , se dice que el tornillo es autobloqueante, es decir, este permanecerá en su lugar bajo la acción de la carga. [123]

Para realizar los cálculos pertinentes de esfuerzo requeridos para realizar la selección del motor a utilizar, se seleccionó un tornillo y una tuerca que cumplieran con las consideraciones realizadas previamente. Estos elementos se describen a continuación.

 <p><i>Figura 151. Tornillo ACME Tr8x8. [124]</i></p>	<p>Tornillo ACME Tr8x8 / Tr8x2-4p [124]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precio: \$220.00 • Material: Acero 304 inoxidable • Rosca Trapezoidal • Diámetro del tornillo: 8mm • Paso: 2mm (4 hilos/entrada) • Avance: 8mm • Longitud: 300mm
 <p><i>Figura 152. Tuerca Brida T8 para tornillo ACME. [124]</i></p>	<p>Tuerca Brida T8 4 hilos para tornillo ACME [124]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precio: Incluida con el Tornillo ACME • Material: Latón • Rosca Trapezoidal • Diámetro interior: 8mm • Paso: 2mm (4 hilos/entrada) • Avance: 8mm • Longitud: 1.5cm

A partir del Diagrama de Cuerpo Libre mostrado en el inciso a) de la Figura 150, que corresponde al caso más crítico al que será sometido el mecanismo, se determinan las siguientes relaciones:

$$\tan(\theta) = \frac{L}{2\pi r} \quad (35)$$

$$\tan(\phi_s) = \mu_s \quad (36)$$

Donde μ_s es el Coeficiente de Fricción Estática. De acuerdo a los materiales que están hechos el tornillo y la tuerca seleccionadas (Acero-Latón) el valor para μ_s es de 0.51. [125]

Despejando a θ de la Ecuación (35) se puede determinar el ángulo de avance:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{L}{2\pi r}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{8mm}{2\pi(4mm)}\right) = 17.65^\circ$$

De la misma manera, se determina el ángulo de fricción a partir de la Ecuación (36):

$$\phi_s = \tan^{-1}(\mu_s) = \tan^{-1}(0.51) = 27.02^\circ$$

La Fuerza Q que debe aplicarse al bloque que representa al tornillo se puede obtener a partir del Diagrama de Fuerzas que se muestra en la Figura 153.

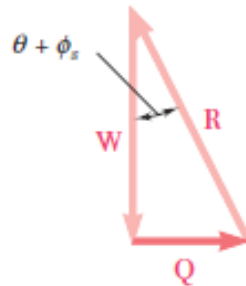


Figura 153. Diagrama de Fuerzas para el movimiento hacia arriba del tornillo. [123]

Resolviendo el Diagrama, la fuerza Q requerida está expresada por la siguiente Ecuación:

$$Q = W \cdot \tan(\theta + \phi_s) \quad (37)$$

Para este caso, la fuerza W ejercida sobre el tornillo, corresponde al peso ejercido por el soporte de los sensores del mecanismo, así como los componentes electrónicos que se encuentran ensamblados en este, para el cual el peso total es de:

$$W = m_{Total\ Componentes} \cdot g = (0.305\text{ kg})(9.81\text{ m/s}^2) = 2.99\text{ N}$$

Sustituyendo los valores conocidos en la Ecuación (37) se puede conocer la Fuerza Q que debe aplicarse al tornillo.

$$Q = W \cdot \tan(17.65^\circ + 27.02^\circ) = 2.99\text{ N} \cdot \tan(17.65^\circ + 27.02^\circ) = 2.9557\text{ N}$$

Finalmente, para calcular el momento torsional mínimo requerido para el motor a seleccionar, se requiere determinar el par necesario para hacer girar al tornillo con respecto a su eje, con lo cual tenemos la siguiente relación:

$$M = Q \cdot r \quad (38)$$

Sustituyendo los valores ya conocidos tenemos que el par que se necesita en el motor es:

$$M = Q \cdot r = (2.9557N)(0.004m) = 1.18 \times 10^{-3} N \cdot m \quad (39)$$

A continuación, se verificará que el tornillo cumpla con los criterios de cortante máximo y esfuerzo axial. Por lo cual, es necesario determinar el momento torsor para elevar y descender una carga, los cuales se describen mediante las siguientes Ecuaciones: [122]

$$T_{ascenso} = \frac{W \cdot d}{2} \cdot \frac{L + \pi \cdot \mu_s \cdot d \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot d - \mu_s \cdot L \cdot \sec \alpha} \quad (40)$$

$$T_{descenso} = \frac{W \cdot d}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \mu_s \cdot d \cdot \sec \alpha - L}{\pi \cdot d + \mu_s \cdot L \cdot \sec \alpha} \quad (41)$$

Donde, dada a las características de los elementos seleccionados se tiene que:

$$W = 2.99N$$

$$d = 2 \cdot r = 2(4mm) = 8mm$$

$$L = 8mm$$

$$\mu_s = 0.51$$

$$\alpha = \frac{\angle ACME}{2} = \frac{29^\circ}{2} = 14.5^\circ$$

En este caso, una vez más se seleccionó el cálculo en donde la carga está de subida, debido a que será el caso más crítico para el mecanismo. Por lo tanto, sustituyendo los valores anteriores en la Ecuación (40), tenemos que:

$$T_{ascenso} = \frac{2.99N \cdot (0.008m)}{2} \cdot \frac{(0.008m) + \pi \cdot (0.51) \cdot (0.008m) \cdot \sec(14.5^\circ)}{\pi \cdot (0.008m) - (0.51) \cdot (0.008m) \cdot \sec(14.5^\circ)} = 12.14 \times 10^{-3} N \cdot m$$

Dado a que el tornillo se considera como un eje macizo, el esfuerzo cortante máximo de torsión se calcula mediante: [126]

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T_{ascenso} r}{J}$$

Conociendo que el Momento Polar de Inercia para una sección circular llena es $J = \frac{\pi d^4}{32}$, la Ecuación anterior se puede reescribir como: [126]

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T_{ascenso}r}{J} = \frac{T_{ascenso}r}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{32T_{ascenso} \cdot \frac{d}{2}}{\pi d^4} = \frac{16T_{ascenso}}{\pi d^3} \quad (42)$$

Sustituyendo los valores ya conocidos en la Ecuación (42) se tiene que:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16T_{ascenso}}{\pi d^3} = \frac{16(12.14 \times 10^{-3} N \cdot m)}{\pi(0.008m)^3} = 120.75kPa$$

El esfuerzo cortante permisible para el Acero es de $S_y = 300MPa$. A partir de este valor, se puede determinar el Factor de Seguridad del tornillo, en el cual se considera aceptable un factor de seguridad mayor a 3:

$$n = \frac{S_y}{2\tau_{m\acute{a}x}} = \frac{300MPa}{2(120.75kPa)} = 1242.75 > 3$$

Para el caso del esfuerzo axial en el tornillo, se tiene que:

$$\sigma = \frac{4W}{\pi r^2} = \frac{4(2.99N)}{2(0.004m)^2} = 373.75kPa$$


De esta manera el factor de seguridad obtenido es de:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{300MPa}{373.75kPa} = 802.67 > 3$$

Con lo cual se verifica que el tornillo es aceptable para el mecanismo con el que se trabajará.


- **Motor a pasos**

A partir del par requerido que se calculó en la Ecuación (39), se seleccionó un motor a pasos NEMA 17, el mismo modelo utilizado para el revolver de Leds. A continuación, se muestran las características más importantes de este motor, donde se observa que cumple con los parámetros mínimos requeridos.

 <p><i>Figura 154. Motor a pasos, bipolar NEMA 17. [75]</i></p>	<p>Motor a pasos NEMA 17</p> <ul style="list-style-type: none">• Motor a pasos Unipolar o Bipolar de 200 pasos por revolución (6 cables)• Angulo de paso: 1.8°• Tensión nominal: 4V• Corriente nominal: 1.2A• Par de Retención: 3.2 kg/cm• Diámetro del eje: 5mm• Peso: 350g
--	---

- **Cople para el eje del motor y el tornillo de potencia**

Para que exista la transmisión de potencia es necesario acoplar lo que es el eje del motor Nema 17 y el tornillo de potencia ACME, para ello se requiere un cople que pueda ajustar el eje del motor de 5mm y los 8mm del tornillo. A continuación, se muestran las características del cople seleccionado.

 <p><i>Figura 155. Cople Flexible 5x8x25mm. [127]</i></p>	<p>Cople Flexible 5x8x25mm [127]</p> <ul style="list-style-type: none">• Precio: \$50.00• Dimensiones: 5x8x25mm <p>Estos acopladores ayudan a ajustar su motor a pasos. Diseñado para motores con eje de 5 y 8mm de diámetro, cuenta con flexibilidad para tolerar vibraciones o movimiento del eje sin dañar el motor y manteniendo la precisión.</p>
--	--

- **Soporte para los sensores ópticos**

El propósito general de este soporte es el de sostener a los sensores ópticos. En la Figura 156 se observa que se encuentra diseñado en forma de L de tal manera que los sensores puedan colocarse en una posición adecuada para realizar las mediciones de turbidimetría (0°) y nefelometría (90°) que se requieren. Principalmente cuenta con 2 espacios rectangulares para colocar de manera atornillada a los mini-servomotores designados para cada sensor espectrofotómetro y de igual manera cuenta con 2 pequeñas bases que sobresalen de esta para atornillar a los 2 sensores UV con los que cuenta este sistema. Además, el soporte cuenta con 3 barrenos pasados a lo largo de este. El primero de estos barrenos se encuentra en el centro de la “L” y es por donde atravesará el tornillo de potencia. Los otros 2 barrenos se encuentran a los costados de la misma “L”, por donde serán colocados un par de guías.

Es importante mencionar que esta pieza tiene un espacio reservado en el centro, cuya función principal es la de ser una camisa para la Tuerca Brida T8 que se seleccionó previamente. Dicho espacio cuenta con un barreno pasado en el centro de la pieza por donde atravesará el tornillo de potencia. Además, se tienen 4 barrenos de diámetro menor en donde la tuerca se podrá atornillar para evitar que esta gire con el propósito de que transforme el movimiento rotacional del tornillo en lineal. Para este caso se ha propuesto que la pieza sea impresa en 3D con filamento PLA dado la complejidad de su diseño.

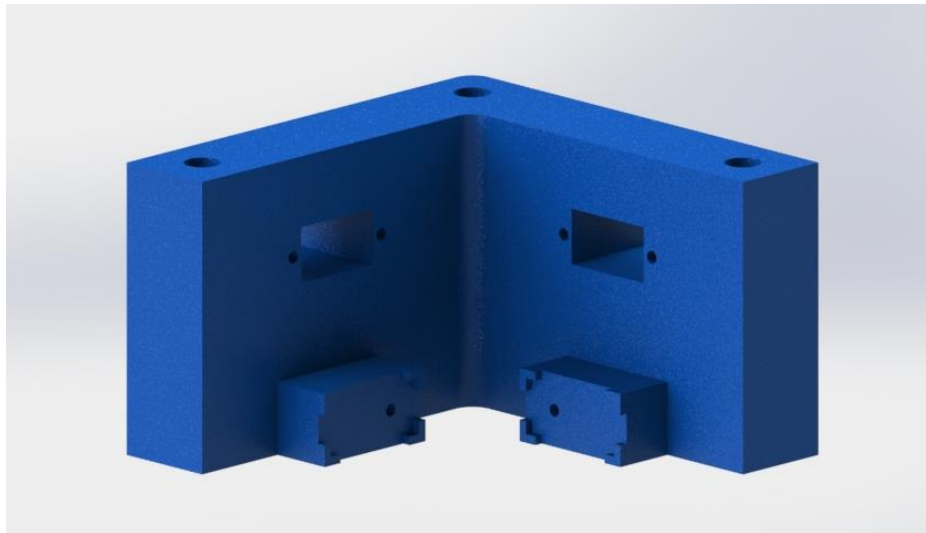


Figura 156. Soporte para los sensores ópticos.

Finalmente, el ensamble de los sensores ópticos sobre el soporte se muestra en la Figura 157.

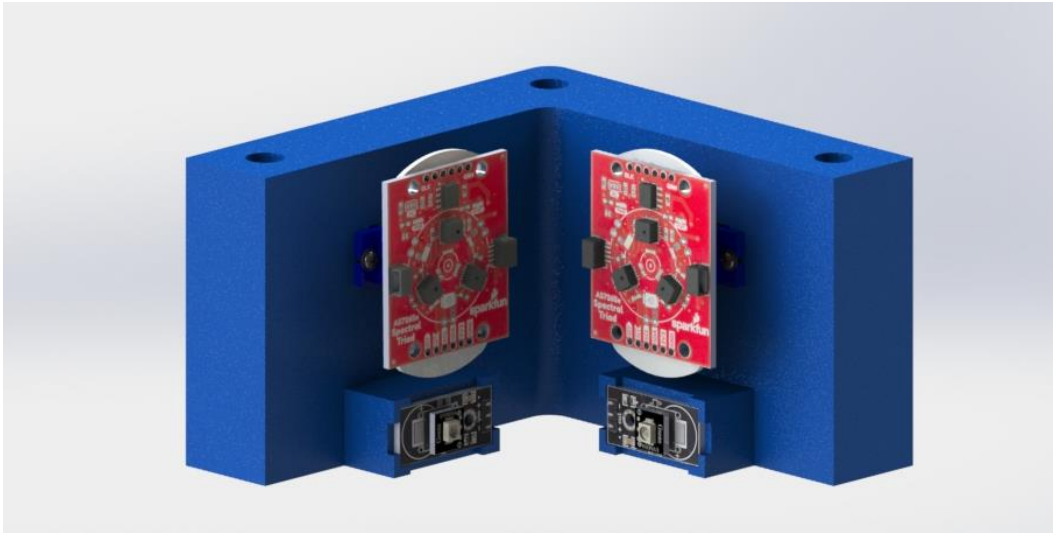


Figura 157. Montaje de los sensores ópticos sobre el soporte.

Más adelante, se mostrará la simulación pertinente por software de que el soporte cumple con los requisitos respecto a los esfuerzos ejercidos por el tornillo, la tuerca y el motor a pasos.

- **Guías para el soporte**

Las guías tienen la función de asegurar el movimiento del mecanismo a lo largo del eje z, sobre todo para evitar que exista un movimiento rotatorio en el soporte que pueda dañar al sistema de nefelometría. El material considerado para las guías son tubos de acero, cuyo acoplamiento será mediante rodamientos.

Para el análisis, se considera el modelo de una viga doblemente empotrada, mediante el cual se determinará el diámetro mínimo requerido del tubo para las guías.

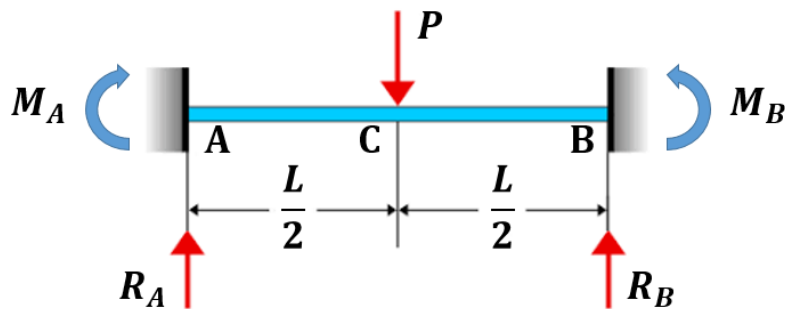


Figura 158. Diagrama de Cuerpo Libre para una Viga doblemente empotrada. [128]

Para una carga colocada entre los puntos A y C, la deformación máxima en la viga está definida por la siguiente Ecuación: [128]

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{Px^2}{48EI} (3L - 4x)$$

Donde: $P =$ Carga puntual

$x =$ Distancia al origen

$L =$ Longitud de la guía

Para realizar los cálculos se seleccionó el caso más crítico por el que pasará el mecanismo en el que el peso del soporte de los sensores ópticos se encuentra a la mitad de la guía. A partir de esto, considerando un $x = \frac{L}{2}$, la Ecuación anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{P \left(\frac{L}{2}\right)^2}{48EI} \left[3L - 4 \left(\frac{L}{2}\right)\right]$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{PL^3}{192EI} \quad (43)$$

Dado a que se han considerado guías con forma cilíndrica, el momento de inercia para una sección circular está dado por:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Donde d es el diámetro de la guía. Despejando a d de la Ecuación anterior se obtiene:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64I}{\pi}} \quad (44)$$

Despejando el momento de inercia de la Ecuación (43) y sustituyendo en la Ecuación (44), se obtiene la siguiente relación:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi} \left(\frac{PL^3}{192Ey_{m\acute{a}x}} \right)}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{PL^3}{3\pi E y_{m\acute{a}x}}} \quad (45)$$

Como se determinó previamente, el peso ejercido por el soporte de los sensores es de 2.99N, con el cual se considerará un Factor de Seguridad de 3. Además, se considerará la fuerza ejercida por el par del motor, el cual es de 3.2kg-cm (0.3138N-m). A partir de esto, se determina la Fuerza Total ejercida sobre el soporte:

$$P_{Total} = [P_{Soporte} + F_{Motor}](F.S.)$$

$$P_{Total} = \left[2.99N + \frac{0.3138N \cdot m}{0.086m} \right] (3) = 19.9165N$$

Dado a que se tiene un total de 2 guías, el P_{Total} se dividirá entre 2, por lo que cada una de estas estará cargando un total de 9.958N. Para el caso de la deformación de la guía, se propone que esta tenga una deformación máxima de 0.2mm. A partir de esto, se hace la sustitución de los valores ya conocidos en la Ecuación (45), esto para conocer el diámetro que se requiere en las guías:

$$d = \sqrt[4]{\frac{(9.958N)(0.23m)^3}{3\pi(200 \times 10^9 Pa)(2 \times 10^{-4}m)}} = 4.96mm$$

De esta forma, el diámetro calculado es de 4.96mm, por lo cual se propone utilizar guías (barras de acero macizo) de 8mm. Por lo que se seleccionó el elemento que se muestra a continuación.

 <p><i>Figura 159. Tubo de Acero. [129]</i></p>	<p>Barra de Cromo de Eje Lineal – 30 cm [129]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precio: \$80.00 • Diámetro: 8mm • Longitud: 300mm • Material: Aleación de acero GCr15 • Acabado: Cromo endurecido 68-72RC
--	--

- **Rodamientos**

Una vez determinado el diámetro para las guías, se deberá seleccionar los rodamientos adecuados para estas. Para ello, se requiere conocer la capacidad de carga dinámica y estática que deberán resistir los rodamientos.

La capacidad dinámica se determina mediante la siguiente fórmula: [130]

$$C = \frac{P_d f_L}{f_N} \quad (46)$$

Donde: P_d = es la carga a soportar por el rodamiento

f_L = factor de duración

f_N = factor por velocidad

Para este diseño se propone utilizar un rodamiento de bolas para una velocidad de trabajo máxima de 200rpm. Los factores de duración y velocidad se determinan mediante Tablas con valores ya establecidos [130], en donde, para este caso se obtiene que $f_N = 0.65$.

Considerando a este mecanismo como una máquina usada para cortos periodos (intermitente), las horas de servicio (L_h) recomendadas para la vida útil de los rodamientos va de 3000 a 8000 horas [131], por lo cual se ha propuesto para $L_h = 6000$. Una vez definido este parámetro, se puede obtener mediante Tablas [130] que se tiene un $f_L = 2.3$.

En la selección de las guías para el mecanismo se calculó la carga a soportar por cada una de estas. Dicha carga es la misma que se estará utilizando para este cálculo, por lo cual se tiene que $P_d = 9.958N$. Sustituyendo los parámetros de P_d , f_N y f_L en la Ecuación (46) se obtiene lo siguiente:

$$C = \frac{(9.958)(2.3)}{0.65} = 35.236N$$

El siguiente paso es calcular la capacidad estática del cojinete de fricción, la cual se determina mediante la siguiente fórmula: [130]

$$C_0 = S_0 P_0 \quad (47)$$

Donde: S_0 = coeficiente de seguridad estática

P_0 = carga estática equivalente

Para este cálculo se emplea un factor de seguridad S_0 , que representa la relación entre C_0 y P_0 , cuyo valor se obtiene mediante Tablas [130] basadas en la experiencia. Para este caso se ha considerado que las condiciones de funcionamiento serán normales, por lo que $S_0 = 1$.

Considerando que $P_0 = P_d$, se puede determinar la capacidad estática:

$$C_0 = S_0 P_0 = (1)(9.958N) = 9.958N$$

Una vez obtenidos los parámetros de C y C_0 , es posible realizar la selección de una chumacera comercial (rodamiento) que cumpla con los valores mínimos de carga. Las características de la chumacera seleccionada se muestran a continuación.



Figura 160. Chumacera KFL08. [132]

Chumacera de pared KFL08 [132]

- Precio: \$80.00
- Diámetro interior: 8 mm
- Rodamiento de bolas
- Material: Estructura de aleación de Zinc
- Capacidad de torque: Estándar
- Capacidad de carga dinámica < 500N
- Capacidad de carga estática < 350N
- Estructura: Rodamiento con asiento
- Material de palo de escoba: Acero
- Peso: 26.4 gramos

- **Soporte para fijar las chumaceras del extremo superior del mecanismo**

Este elemento se ubica en la parte superior del sistema nefelométrico y su función es fijar las chumaceras del mecanismo de posicionamiento de sensores, donde estarán las barras y el tornillo M8 que estarán en constante rotación para poder llegar a las distancias de los múltiples sensores. En la Figura 161 se aprecia esta pieza, cabe mencionar que el elemento en cuestión será manufacturado por la técnica de impresión en 3D.

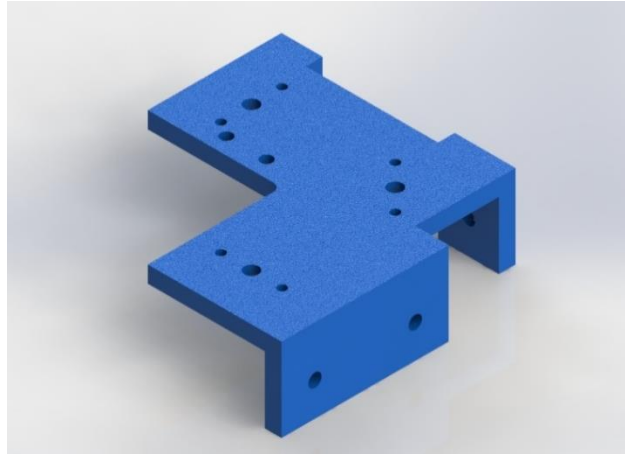


Figura 161. Soporte para fijar las chumaceras del extremo superior

- **Funcionamiento del Mecanismo**

Antes de explicar el funcionamiento del mecanismo de posicionamiento, es esencial conocer las distancias que hay entre las 3 posibles posiciones en las que se ubican los sensores de luz. Estas se pueden observar en la Figura 162.

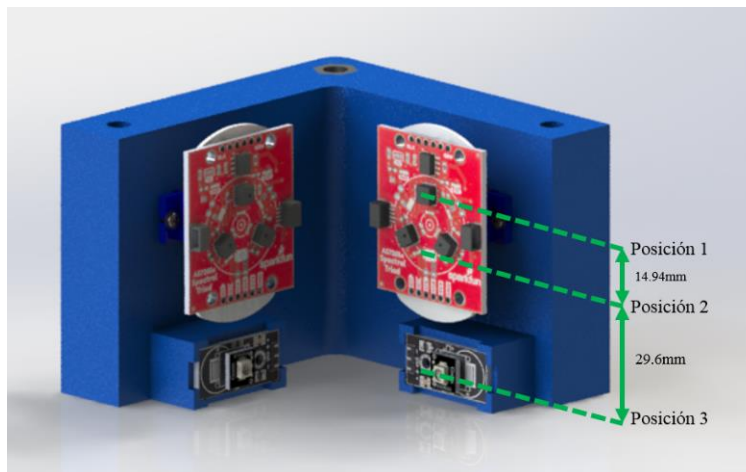


Figura 162. Distancias consideradas para posicionar los sensores ópticos

De la Figura 162, se aprecia que en la Posición 1 se ubica el fotodiodo AS72651, la Posición 2 corresponde a los fotodiodos AS72652 y AS72653 que se posicionarán adecuadamente con ayuda de los servomotores, y finalmente en la Posición 3 se tiene al sensor de luz UV. Además, de estas medidas es prescindible conocer la distancia que existe entre estas mismas posiciones y lo que será el punto de inicio (cero pieza). Dichos valores se pueden observar en la Tabla 38.

Tabla 38. Distancias de las 3 Posiciones de los sensores ópticos al cero pieza del mecanismo.

Distancia al cero pieza	
Ventana óptica de la Celda	57mm
Posición 1	52.8mm
Posición 2	37.86mm
Posición 3	8.26mm

Estas distancias mostradas anteriormente, serán esenciales para calcular la distancia a recorrer por el mecanismo para posicionar cada posición desde el cero pieza hasta la ventana óptica y para determinar el número de pasos que se le tendrán que indicar al driver del motor para llegar hasta esas posiciones.

Para conocer la Configuración del paso adecuada con el que debe trabajar el driver del motor a pasos es recomendable conocer antes la resolución que cada una de estas ofrece. Para ello, se consideró el Avance de 8mm que tiene la tuerca del Tornillo ACME por cada Revolución que da y el ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta) que el motor NEMA 17 ofrece al utilizarse a pasos completos y del cual se pueden establecer los pasos por revolución de otras configuraciones que ofrece el driver. Con estos datos se determinaron los parámetros de la Tabla 39.

Tabla 39. Resolución ofrecida por diferentes configuraciones del driver de los motores a pasos.

Configuración del driver	Pasos por Revolución	Distancia recorrida por paso (Resolución)
Pasos completos	200 <i>pasos/Rev</i>	0.04mm/ <i>paso</i>
1/2 Pasos	400 <i>pasos/Rev</i>	0.02mm/ <i>paso</i>
1/4 Pasos	800 <i>pasos/Rev</i>	0.01mm/ <i>paso</i>

Antes de seleccionar una configuración para el driver, es necesario observar qué tan buen comportamiento tiene cada una de estas para llegar a las posiciones deseadas y evitar errores de precisión con el número de pasos y la resolución que se requiere en cada posición. Utilizando los valores de la Tabla 38, se determinó la distancia a recorrer por el mecanismo desde el cero pieza hasta la ventana óptica para cada una de las posiciones y el número de pasos que se requieren en las diferentes configuraciones.

Tabla 40. Número de pasos requeridos en cada configuración del driver para una posición deseada.

Configuración del driver	Posición 1 Distancia=4.2mm	Posición 2 Distancia=19.14mm	Posición 3 Distancia=48.74mm
Pasos completos	105 <i>pasos</i>	478.5 <i>pasos</i>	1218.5 <i>pasos</i>
1/2 Pasos	210 <i>pasos</i>	957 <i>pasos</i>	2437 <i>pasos</i>
1/4 Pasos	420 <i>pasos</i>	1914 <i>pasos</i>	4874 <i>pasos</i>

Con los datos observados en la Tabla anterior, se puede llegar a una conclusión para cada configuración:

- Los pasos completos tienen un problema para alcanzar a la posición 2 y 3 pues requieren de $\frac{1}{2}$ paso de más debido a que su resolución no es suficiente para alcanzar con precisión a la distancia, por lo cual tiene un margen de error.
- Los medios pasos no sufren del problema que tienen los pasos completos, ya que alcanzan a las 3 posiciones con un número de pasos completos, lo cual indica que la resolución que tienen es justa para la precisión que requiere el sistema.
- De igual manera, la configuración a cuartos de pasos no tiene problemas para alcanzar a alguna de las 3 posiciones, sin embargo, utiliza el doble número de pasos para tener el mismo resultado que la configuración a medios pasos.

De esta manera se puede establecer que la configuración adecuada para el driver es la de medios pasos. Una vez definido este parámetro, se explica el funcionamiento que tendría el mecanismo.

En primer lugar, antes de que el mecanismo se encuentre listo para posicionar a los sensores ópticos, es necesario que busque la posición inicial de donde comenzará a contar. Para ello en primera instancia lo que hace el mecanismo es girar al motor en dirección descendente con el objetivo de que al bajar oprima un push-button que defina la posición donde se localiza el cero pieza, esto con ayuda de una parte electrónica y del microcontrolador del sistema. Una vez realizado esto, el sistema será capaz de hacer el conteo del número de pasos para llegar a una posición deseada.

Una vez establecido el cero pieza del sistema y ya que lo indique la tarjeta de control, el motor girará de manera ascendente para así posicionar al mecanismo en alguna de las 3 posiciones que se tienen (según el número de pasos indicados por el control) y una vez que se llega a la posición deseada el motor dejará de girar. En este caso, ya sea por indicación del driver o por efectos mecánicos del tornillo ACME, el sistema permanecerá estático hasta que terminen de realizarse las lecturas que se requieran. Una vez se termine de realizar las lecturas que se requieren, el motor nuevamente regresará al cero pieza hasta que se le solicite moverse a una nueva posición.



Figura 163. Mecanismo de la selección de los sensores.

3.5.7 Soporte de la celda de cuarzo y el lente de cuarzo

El soporte de la celda de cuarzo es la encargada de dejar pasar el haz de luz hacia la probeta con la muestra, también soporta la lente, el difusor y la rejilla. Este elemento será manufacturado por medio de impresión en 3D con PLA, para que cumpla con las dimensiones establecidas y requeridas para el sistema nefelométrico. En la Figura 164 se muestra el modelo en 3D del soporte.

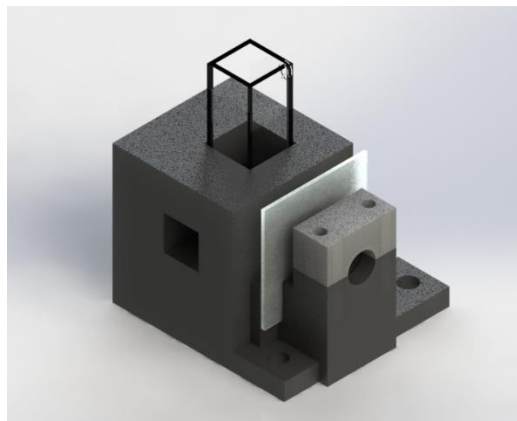


Figura 164. Modelo del soporte de la celda de cuarzo.

En la Figura 165 se presenta la incorporación del soporte en el sistema nefelométrico. Se puede notar que tiene dos perfiles IPS de 20x20 que funcionan como soportes y estarán fijos a la base de la estructura, esto con el fin de que el soporte de la celda de cuarzo alcance la distancia en donde se ubicarán los sensores ópticos.

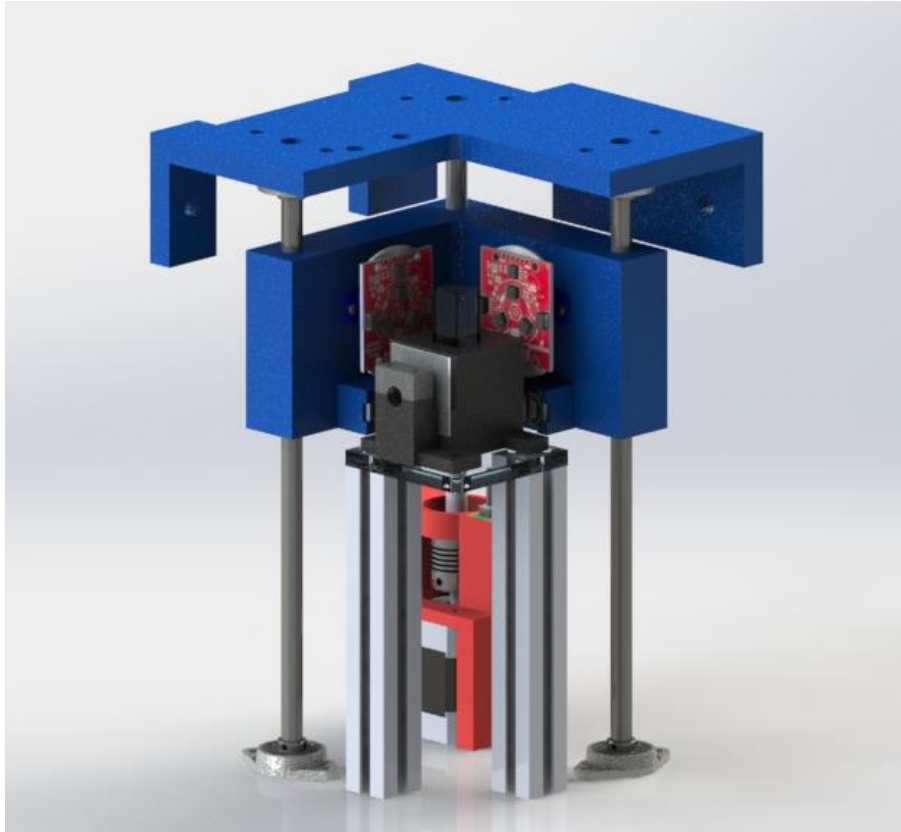


Figura 165. Soporte de la celda de cuarzo incluido en el mecanismo.

3.5.8 Soporte para la lámpara

El soporte de la lámpara UV, se conforma de un tubo de PVC de 2.5 in de diámetro con una longitud de 200mm. Dos soportes se encontrarán fijos a la base diseñada para la lámpara y un socket para foco estándar. Se ha propuesto que estos soportes serán impresos en 3D.

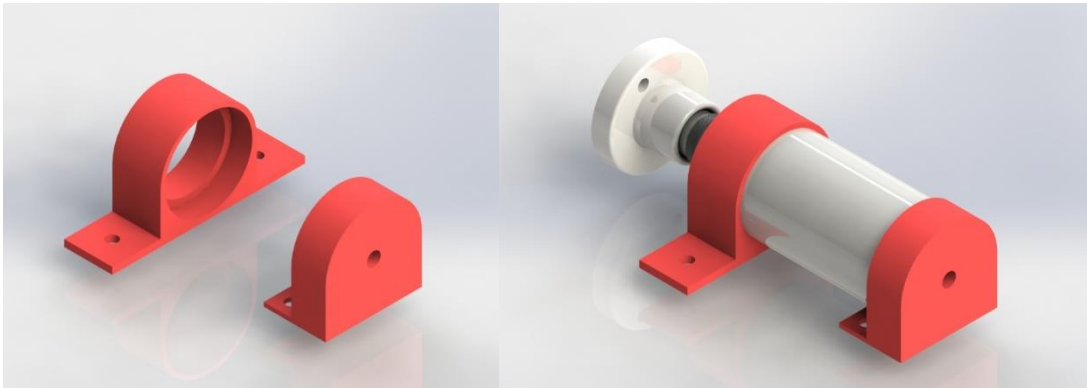


Figura 166. Soportes y ensamble de la lámpara UV.

3.5.9 Soporte del micro motorreductor

Este soporte es comercial de marca Pololu permite montar de forma fácil y segura al micro motorreductor de engranes metálicos a la base para impedir vibraciones o movimiento a la hora de realizar la obturación mecánica. Cuenta con dimensiones de 10mm x 12mm x 26mm. En la Figura 167 se puede apreciar el modelo 3D del soporte.

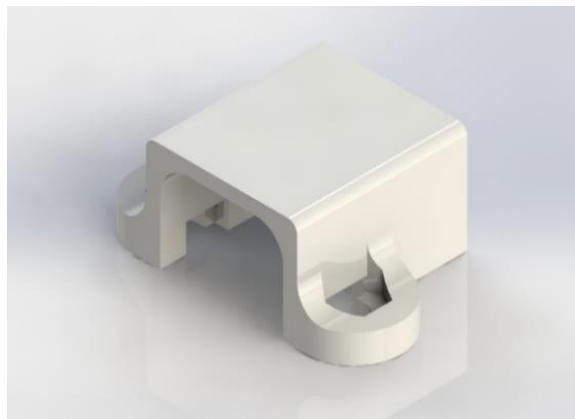


Figura 167. Soporte para micro motorreductor metálico.

3.5.10 Soportes de los motores a pasos

Este soporte es comercial y resistente de acero recubierto de 3mm de espesor pesa aproximadamente 140g, está diseñado para funcionar con los orificios típicos de un Nema 17, dos soportes están soldados en la esquina para proporcionar un refuerzo adicional, cuenta con dos ranuras para montarlos en una superficie. [133] En la Figura 168 se aprecia un modelo en 3D del soporte.

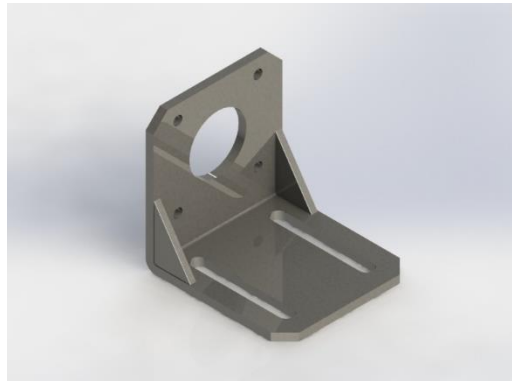


Figura 168. Soporte para el Motor a pasos Nema 17.

El soporte de la Figura 169, funcionará para inmovilizar el motor a pasos Nema 17 que estará encargado del posicionamiento vertical de los sensores. Esta pieza será impresa en 3D, debido a que su estructura no es convencional ya que cuenta con un soporte superior en donde se podrá colocar el botón que permitirá al sistema definir su posición inicial.

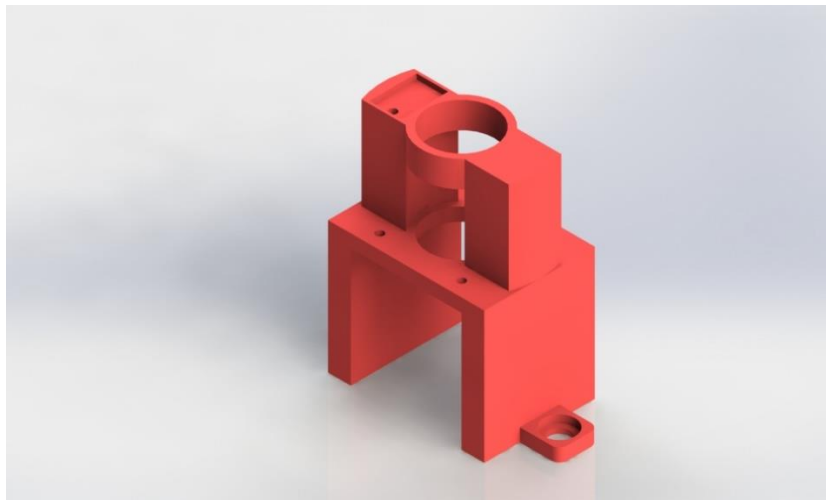


Figura 169. Soporte de motor a pasos de mecanismo de posicionamiento de sensores.

3.5.11 Ensamble del sistema de nefelometría

La incorporación de los elementos que pertenecen al sistema nefelométrico se presenta en la Figura 170. Donde se puede observar la distribución de cada elemento dentro de la estructura general.

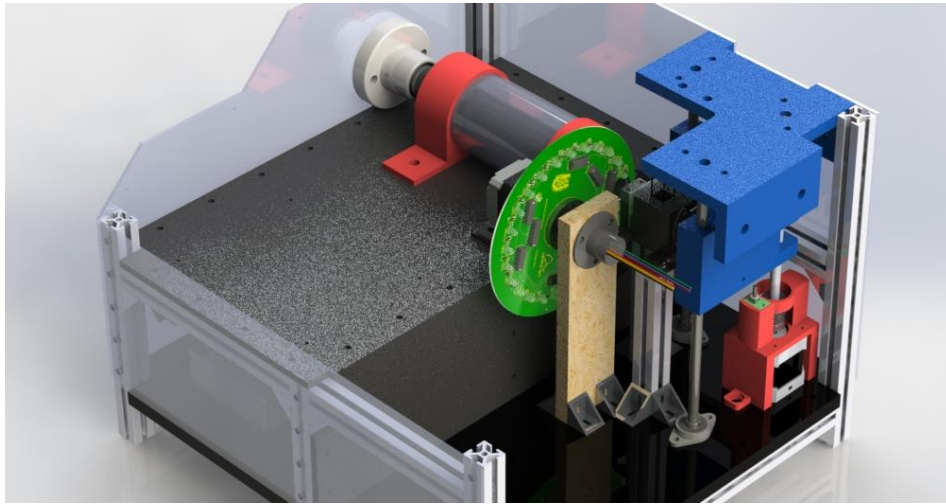


Figura 170. Modelo en 3D del ensamble del sistema nefelométrico.

En la Figura 171, se aprecia una vista superior del ensamble del sistema nefelométrico. Donde se aprecia la distribución de algunos elementos principales.

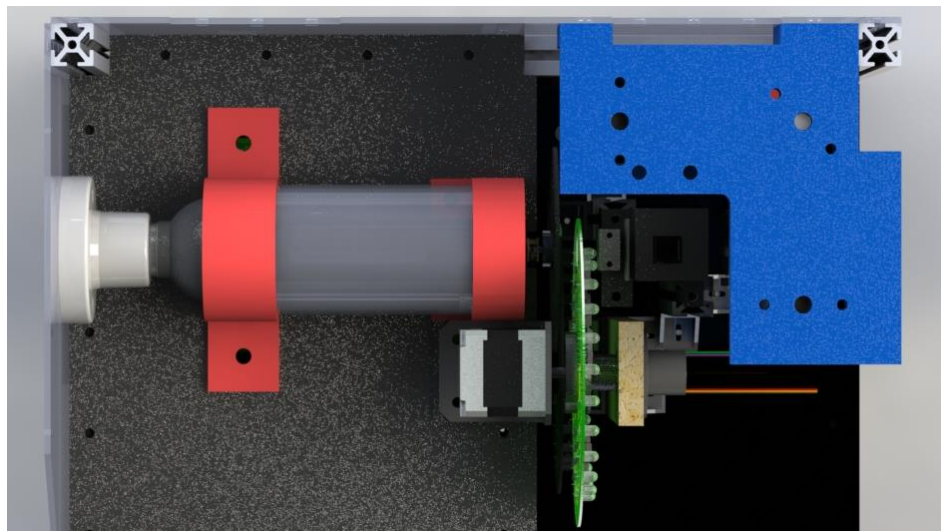


Figura 171. Vista Superior del ensamble del sistema nefelométrico.

3.5.12 Soporte del contenedor

Este elemento se encarga de soportar el contenedor que contendrá la muestra de agua del sistema acústico, esta pieza será manufacturada mediante cortes y uniones con pegamento epoxi de material Sintra, debido a que es muy maleable y resistente al agua. A continuación, se muestra el diseño del soporte en 3D en la Figura 172.

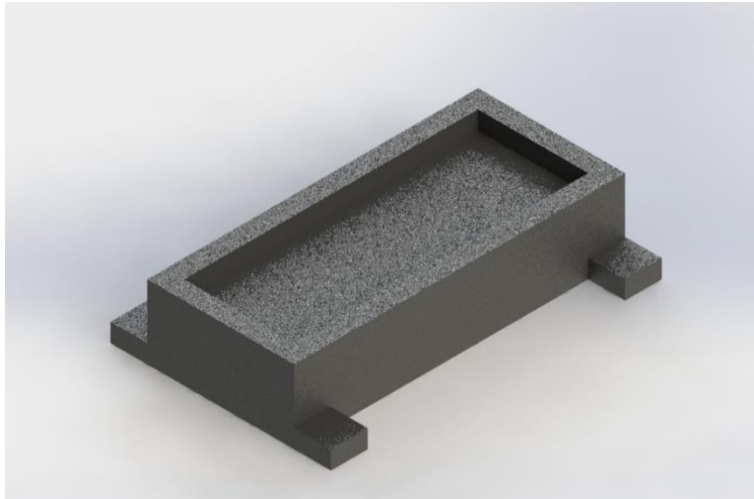


Figura 172. Soporte en 3D del contenedor del ultrasónico.

3.5.13 Soporte del transductor ultrasónico

El transductor ultrasónico estará unido con tornillos M3 a la tapa del sistema acústico, al realizar la acción de cerrar la tapa, el transductor entrará a la tina con la muestra de agua sin tocar la superficie, en la Figura 173 se muestra el modelo 3D del transductor unido con la tapa que cerrará al sistema acústico.

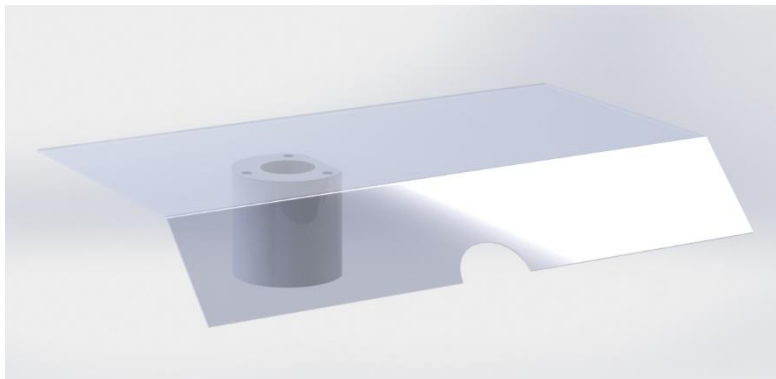


Figura 173. Soporte del transductor ultrasónico en 3D.

Es importante mencionar que el transductor ultrasónico para que sea resistente al agua, posee una junta tórica de goma entre el transductor y la pieza que ejerce presión a la junta, esta pieza será manufacturada mediante un proceso de torneado y mecanizado para asegurar que el agua no entrara a los cables eléctricos que posee el transductor ultrasónico.

3.5.14 Ensamble del sistema acústico

Finalmente, el ensamble del sistema acústico se muestra en la Figura 174, donde se aprecia la posición del transductor ultrasónico en la tina y en la estructura general. Cabe mencionar que la distancia entre el transductor ultrasónico y la pared del contenedor de acrílico será de 10cm.

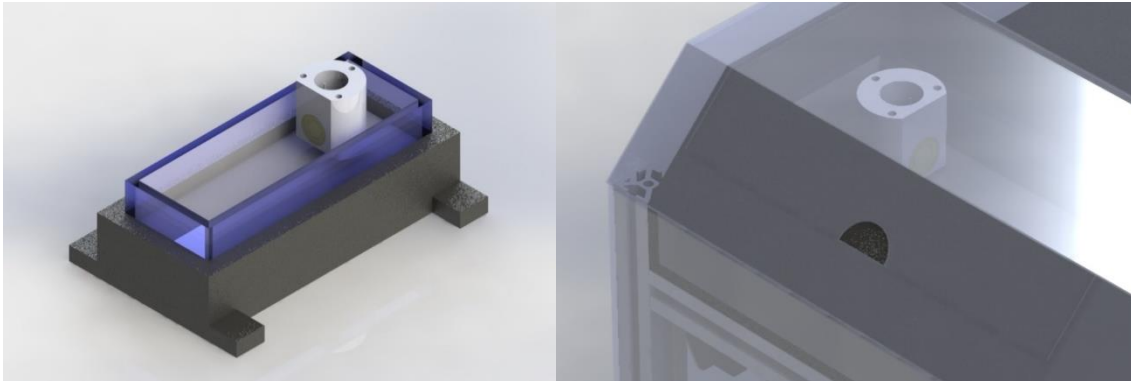


Figura 174. Ensamble del sistema acústico.

3.5.15 Sistema hidráulico

Para el desarrollo del sistema nefelométrico se planteó diseñar un sistema hidráulico, esto con el fin de suministrar la muestra de agua, utilizando una bomba y mangueras al contenedor en donde se realizará el análisis nefelométrico. Con el desarrollo de la investigación se encontró una serie de factores que indicaban la implementación de un sistema hidráulico incensario, a continuación, se mencionan:

- Un sistema hidráulico, requiere de una bomba de agua que suministra presión al sistema para poder llenar el contenedor, estas presiones que se encuentran en las mangueras causan velocidades altas en la corriente del agua, y cuando llegan al contenedor ocasionan turbulencias con movimientos violentos del líquido provocando generación de burbujas con el mismo, este evento es una gran desventaja debido a que las burbujas y turbulencias que pueda existir dentro del líquido a estudiar pueden variar los resultados de la absorción y por lo tanto mostrar una medida errónea.
- Para implementar un sistema hidráulico, se requiere volúmenes de agua grandes lo cual implica que las muestras de agua de mínimo sean más de 2 litros, este factor impacta ya que, en laboratorios, las muestras se crean u obtienen dentro de tubos de ensaye que almacenan de 4ml a 75ml dependiendo el tamaño del tubo, esta cantidad de agua es difícil ingresarla mediante una bomba de agua dentro de un sistema hidráulico.
- Las muestras a introducir suelen ser de diferentes concentraciones, debido a que el objetivo del sistema nefelométrico es determinar de manera cuantitativa y cualitativa, la concentración a partir de la absorción y turbidez del agua, por lo que si implementamos un sistema hidráulico de suministro de muestras de agua, cuando entre la primer medición y después la segunda medición existan partículas de la concentración pasada atrapadas en las mangueras, válvulas o bomba de agua y estas partículas podrían afectar en los resultados de la segunda medición, por lo que es mejor que cada solución tenga su propio contenedor.
- El tamaño del contenedor es importante debido a que debe de ser de un material que deje pasar la luz UV y tenga un porcentaje de absorción mínimo. Si se diseña un contenedor para un sistema hidráulico sería de proporciones para muestras de 1 a 2 litros, pero es importante las medidas del contenedor debido a que si aumentamos la distancia entre el haz de luz incidente y el detector, la ecuación de la ley de Lambert y Beer pierde resolución y para mitigar ese error será necesario la implementación de otro tipos de lámparas que irradian más energía que un diodo emisor de luz.

Con la implementación de celdas de cuarzo que requieren una muestra de 3.5ml, se comprende que no hay necesidad de involucrar al proyecto un sistema hidráulico ya que en cada probeta puede haber una sustancia con una concentración distinta, la distancia de la fuente de luz emisora y el detector receptor es más corta y el líquido se mantiene en suspensión sin presentar turbulencias.

3.6 Máquina de estados

El funcionamiento del prototipo se diseñó a través una máquina de estados, para la cual se consideró los parámetros de la siguiente Tabla.

Tabla 41. Nomenclatura utilizada en la máquina de estados.

Estados	Transiciones
<i>S₀: Dispositivo apagado</i>	<i>B: Botón ON/OFF</i>
<i>S₁: Estado de espera (Home)</i>	<i>I: Botón para iniciar el análisis</i>
<i>S₂: Selección del tipo de análisis</i>	<i>u: Tipo de análisis seleccionado por el usuario (nefelometría o acústica)</i>
<i>S₃: Detección del origen cero del revolver de fuentes de luz de sensores (motor girando)</i>	<i>d₁: Sensor para detectar el punto de origen del revolver de fuentes de luz</i>
<i>S₄: Detección del cero pieza del motor a pasos del mecanismo de sensores (motor bajando)</i>	<i>d₂: Botón para detectar el cero pieza del mecanismo de sensores</i>
<i>S₅: Envío de los ajustes al micro – controlador para el análisis de nefelometría seleccionado</i>	<i>a: Tipo de análisis elegido por el usuario</i>
<i>S₆: Posicionamiento de la fuente de luz "n" en el espectro IR</i>	<i>n₁: Número de pasos del motor para ubicarse en la fuente "n"</i>
<i>S₇: Posicionamiento del sensor para la lectura de luz IR</i>	<i>n_{cm}: Número de pasos del motor calculado por el software para la fuente "n"</i>
<i>S₈: Almacenamiento de la muestra "m" para la fuente</i>	<i>n₂: Número de pasos del motor para ubicarse en el sensor "n"</i>
<i>S₉: Fin del análisis para la fuente "n" del espectro IR</i>	<i>n_{cs}: Número de pasos del motor calculado por el software para el sensor "n"</i>
<i>S₁₀: Posicionamiento de la fuente de luz "n" en el espectro VIS</i>	<i>m: Número de muestras tomadas</i>
<i>S₁₁: Posicionamiento del sensor para la lectura de luz VIS</i>	<i>m_u: Número de muestras requeridas por el usuario</i>
<i>S₁₂: Almacenamiento de la muestra "m" para la fuente</i>	<i>n_r: Número de fuentes analizadas</i>
<i>S₁₃: Fin del análisis para la fuente "n" del espectro VIS</i>	<i>n_f: Número de fuentes existentes en el sistema para el espectro seleccionado</i>
<i>S₁₄: Posicionamiento de la fuente de luz "n" en el espectro UV</i>	

<p><i>S₁₅: Posicionamiento del sensor para la lectura de luz UV</i></p> <p><i>S₁₆: Almacenamiento de la muestra "m" para la fuente</i></p> <p><i>S₁₇: Fin del análisis para la fuente "n" del espectro UV</i></p> <p><i>S₁₈: Encendido de la lámpara UV</i></p> <p><i>S₁₉: Giro del motor DC para la obturación mecánica</i></p> <p><i>S₂₀: Apagado de la lámpara UV y del motor DC</i></p> <p><i>S₂₁: Envío de las mediciones obtenidas al software intérprete (cantidad de radiación luminosa)</i></p> <p><i>S₂₂: Cálculos internos para la sección de nefelometría</i></p> <p><i>S₂₃: Muestra de los resultados obtenidos en el software intérprete</i></p> <p><i>S₂₄: Envío de los parámetros del análisis al microcontrolador (número de ecos deseados)</i></p> <p><i>S₂₅: Excitación del sensor ultrasónico</i></p> <p><i>S₂₆: Envío de los datos medidos al software intérprete (tiempo)</i></p> <p><i>S₂₇: Cálculos internos para el análisis acústico (velocidad del sonido en el agua)</i></p> <p><i>S₂₈: Interpretación de los resultados aplicados en la concentración</i></p>	<p><i>f: Frecuencia de obturación en el motor CD</i></p> <p><i>f_r: Frecuencia de obturación requerida</i></p> <p><i>f_r: Frecuencia de obturación requerida</i></p>
--	---

A partir de esta nomenclatura se diseñó una máquina de estados cuyo diagrama se muestra en la Figura 175.

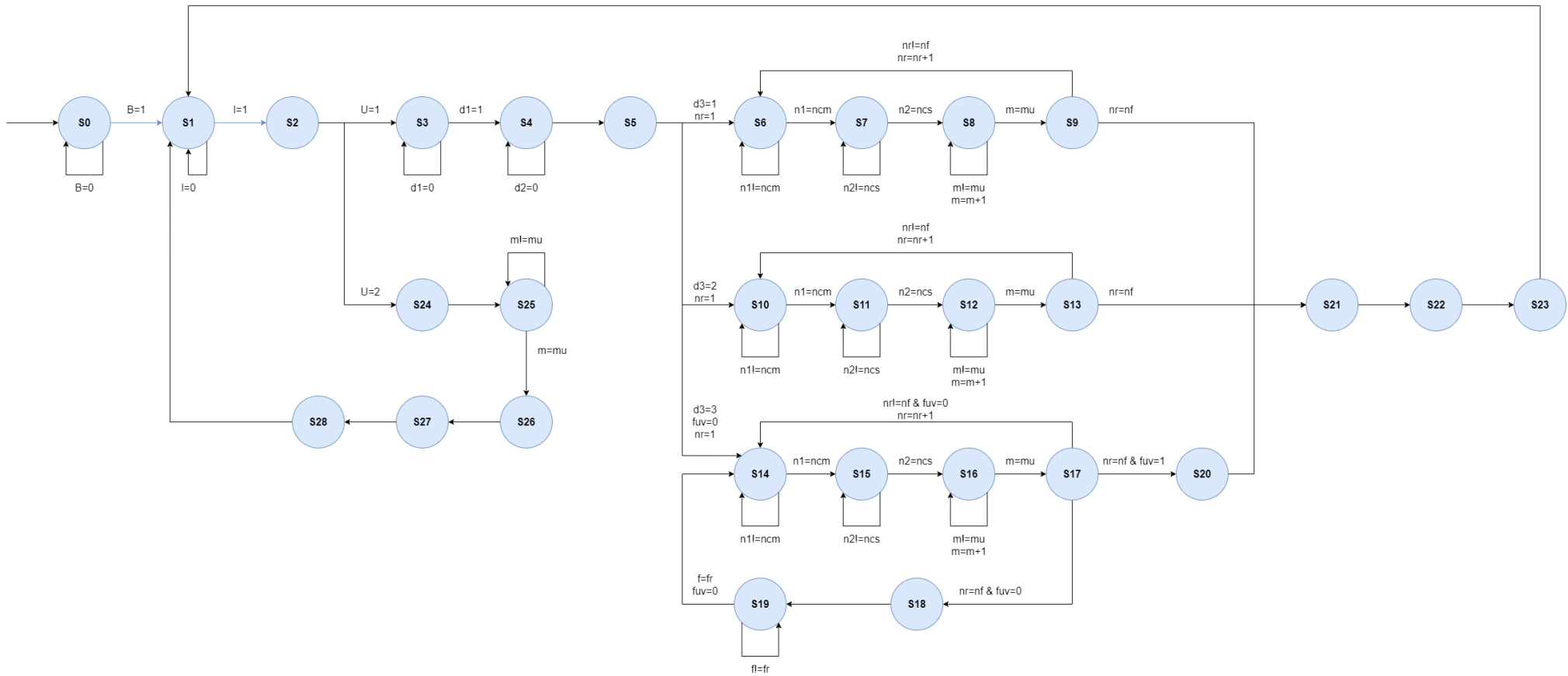


Figura 175. Máquina de estados del prototipo en funcionamiento.

3.7 Prototipo final

En este apartado se muestra el diseño final del prototipo, con todos los mecanismos y elementos descritos en las secciones anteriores. Por lo cual, el prototipo final tiene las siguientes dimensiones: 39.4cm de ancho x 39.9cm de largo x 29.3cm de alto. Esta se puede observar en la Figura 176.

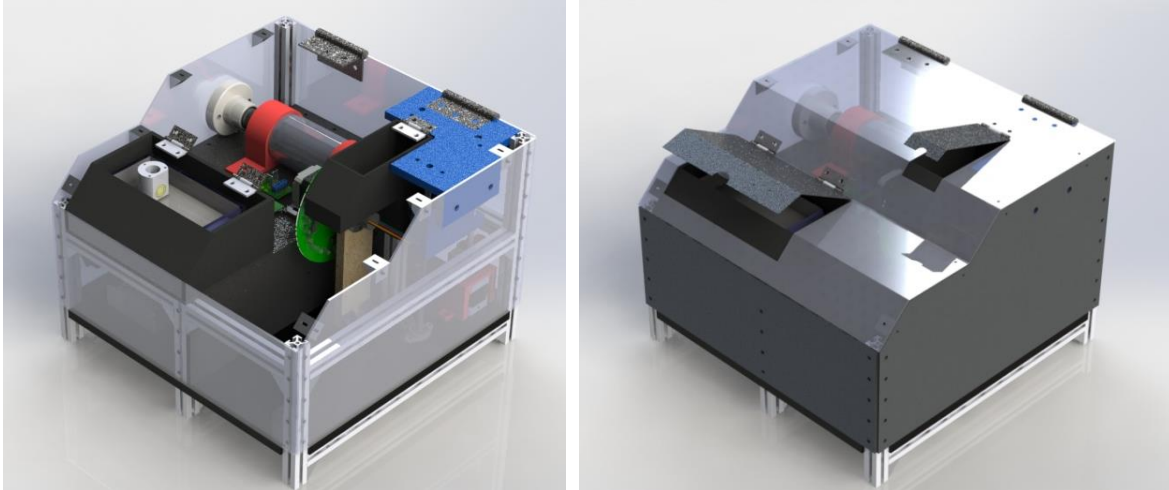


Figura 176. Diseño final del prototipo.

De esta manera, la distribución de los elementos y sistemas principales del prototipo en la estructura se pueden observar en la Figura 177.

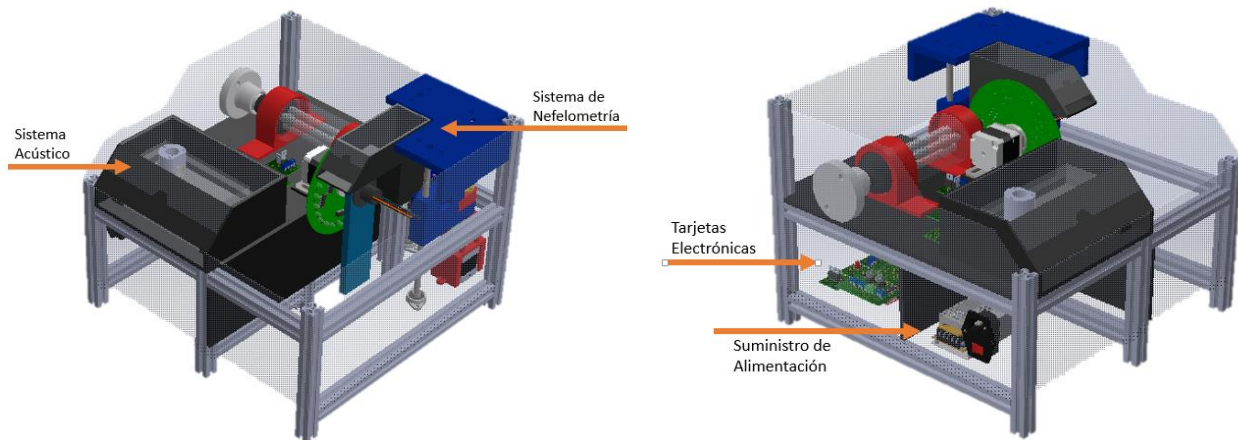


Figura 177. Distribución de los componentes del prototipo en la estructura.

Capítulo 4: Implementación y construcción

4 Implementación y construcción

A lo largo de este capítulo se explica cada una de las fases y procesos involucrados en la construcción y montaje del prototipo, la manufactura de los circuitos electrónicos, el desarrollo de la interfaz gráfica y finalmente los resultados obtenidos de las pruebas realizadas de los subsistemas de mayor importancia.

4.1 Estructura general y soportes

La construcción de la estructura se dividió en dos partes: la estructura general y los soportes que se utilizarán para cada los elementos que se requieren en cada sistema. A continuación, en la Tabla 42 se puede ver el listado de las diversas máquinas, elementos de medición y herramientas utilizadas para la fabricación de la estructura.

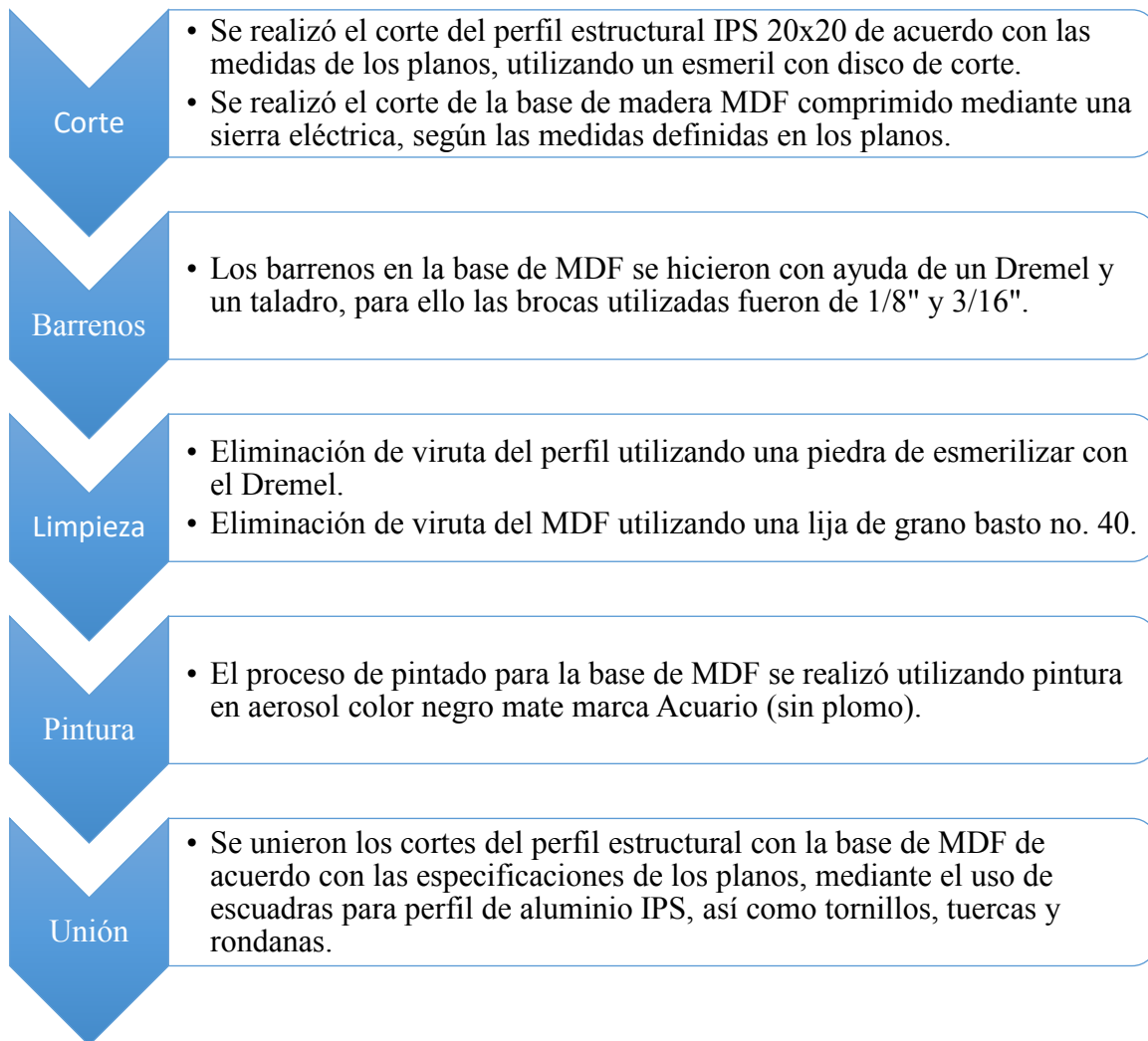
Tabla 42. Máquinas, herramientas e instrumentos utilizados para la manufactura de la estructura.

Máquinas	Herramientas	Instrumentos de medición
Sierra eléctrica	Dremel	Vernier electrónico
Router para madera	Esmeril	Flexómetro
	Taladro de mano	

A pesar de la limitación de máquinas y herramientas en la construcción del proyecto, fue necesario cumplir con las etapas de construcción en una cierta secuencia las cuales permitieron avanzar de manera constante, iniciando por adquirir la materia prima, almacenarla, marcarla según los planos y posteriormente realizar los procesos correspondientes para su transformación y manufactura.

4.1.1 Manufactura de la estructura general

En el siguiente esquema se muestra el proceso seguido para la construcción de la estructura general.



A continuación, en la Figura 178 se muestra el proceso de corte y limpieza del perfil IPS 20x20 correspondiente a la estructura general.

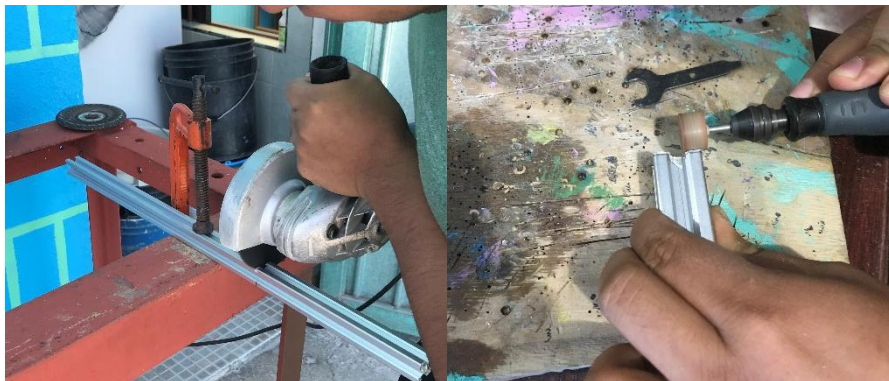


Figura 178. Proceso de corte y limpieza del perfil IPS 20x20.

Enseguida, en la Figura 179, se muestra el proceso de corte y la realización de los barrenos en la base hecha de MDF.



Figura 179. Proceso de corte y barrenos de la base de la estructura de MDF.

Como resultado de unir el perfil IPS y la base de MDF pintada de color negro mate, se obtuvo la estructura mostrada en la Figura 180.



Figura 180. Finalización de la estructura principal.

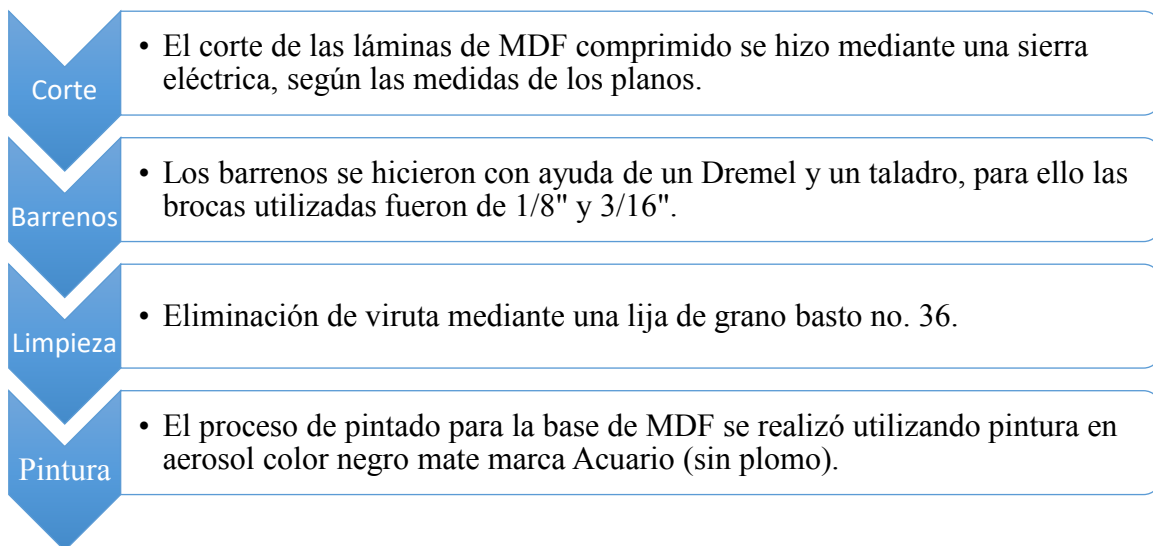
Observaciones:

- Es importante que al momento de unir el perfil IPS como se marca en el diseño CAD, estos se encuentren correctamente alineados y encuadrados, para que no existan problemas a la hora de montar la base de MDF.

- Durante el proceso de pintura para la base de MDF, es necesario que la pintura a utilizar sea libre de plomo, esto para que no genere posibles problemas de conducción entre las placas de electrónica.
- Antes de unir la base con la estructura de perfil IPS, es recomendable asegurarse de que los barrenos realizados en el MDF cuadren correctamente para evitar dañar la base durante la unión.

4.1.2 Manufactura del chasis y paredes para la estructura

El proceso seguido para la manufactura de las paredes para la estructura es el que se muestra a continuación.



Como resultado, se obtuvieron un total de 4 paredes para la estructura que se muestran en la Figura 181.

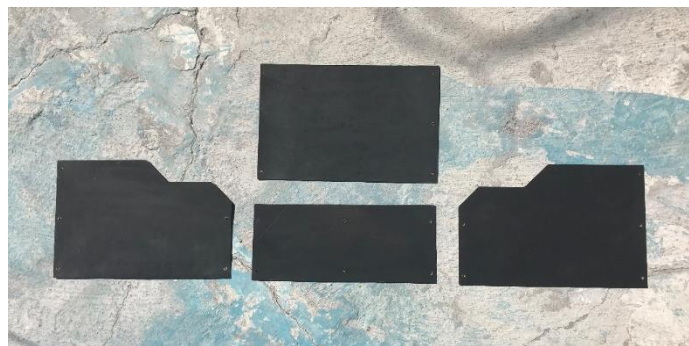


Figura 181. Finalización de las paredes de MDF para la estructura.

Observaciones:

- A la hora de realizar los barrenos en el MDF, es necesario realizarlos con mucho cuidado para no dañar el material.

4.1.3 Ensamble de la estructura y las paredes

Para realizar el ensamble de la estructura con las paredes de MDF, se siguió el proceso que se muestra a continuación.

Unión

- Se unieron los cortes del perfil estructural y la base de MDF con las paredes manufacturadas, de acuerdo con las especificaciones de los planos, mediante el uso de escuadras para perfil de aluminio IPS, así como tornillos, tuercas y rondanas.

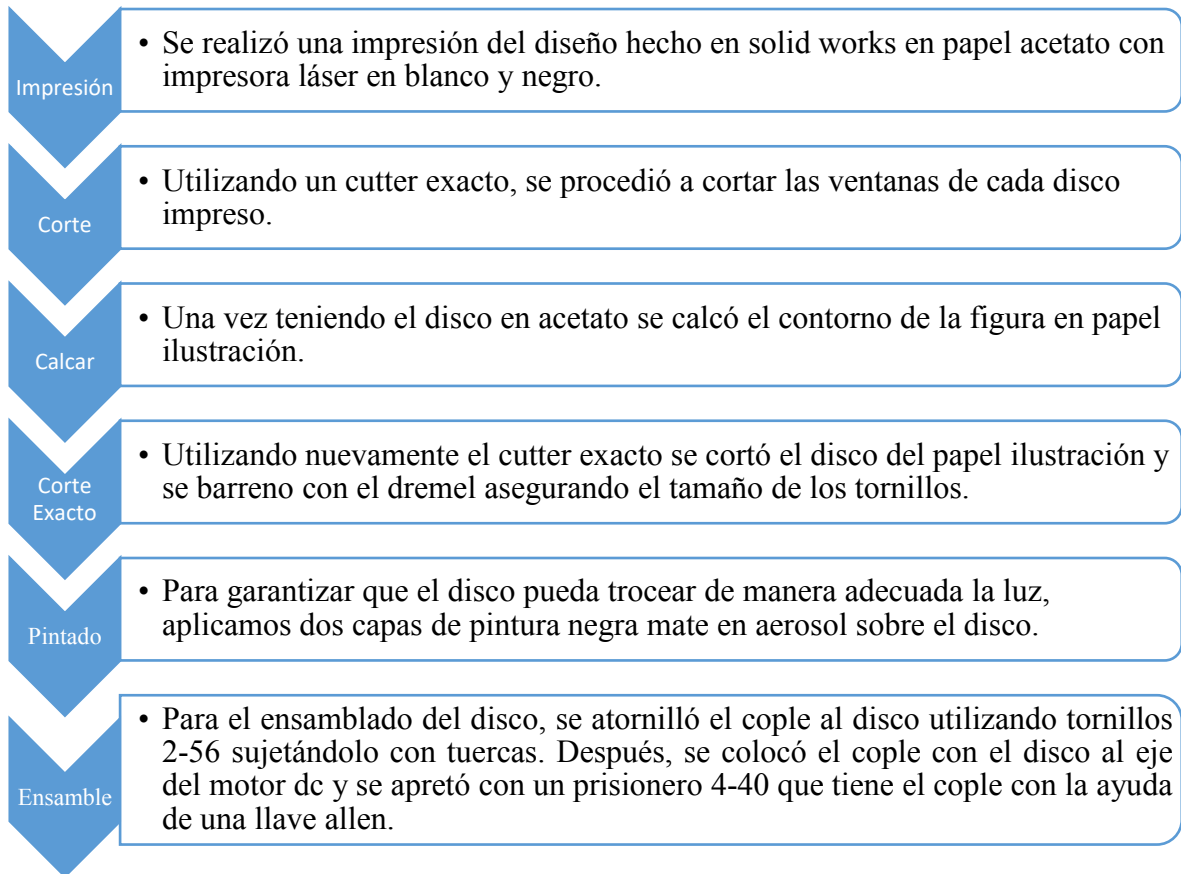
De esta manera, el ensamble obtenido para la estructura del prototipo es el que se muestra en la Figura 182.



Figura 182. Ensamble de la estructura con las paredes de MDF manufacturadas.

4.1.4 Manufactura del disco troceador

El proceso para la manufactura del disco troceador, se muestra a continuación.



Finalmente, el troceador mecánico quedó como se muestra en la Figura 183.



Figura 183. Troceador Mecánico ensamblado.

4.1.5 Manufactura de los soportes para el mecanismo de los receptores ópticos

En la Figura 184 y Figura 185, se muestran los soportes manufacturados que se utilizaron para el mecanismo de los receptores ópticos. Es importante observar que, en el caso del soporte para el motor a pasos, se ubicó estratégicamente el switch que permitirá determinar la posición cero pieza del mecanismo así como la placa controladora de los servomotores y el motor cd.

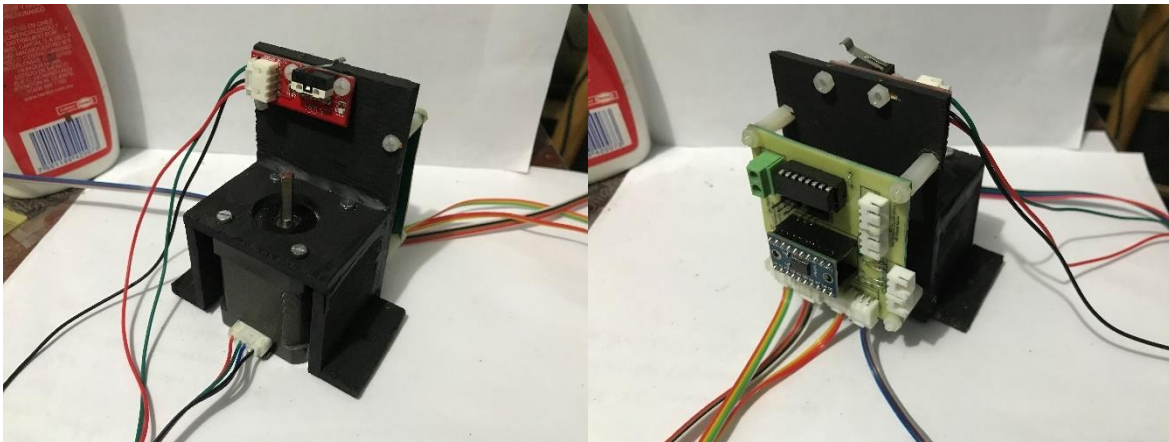


Figura 184. Soporte del motor a pasos para el mecanismo de receptores ópticos.



Figura 185. Soporte manufacturado para los sensores ópticos.

4.1.6 Manufactura del contenedor de agua del sistema acústico

Este apartado no se realizó debido al acuerdo que se llegó con los integrantes del jurado evaluador de omitir de los objetivos al sistema acústico, debido a las condiciones en que actualmente nos encontramos y que no contamos con la instrumentación ni los laboratorios pertinentes que posibiliten el correcto desarrollo de esta sección.

4.1.7 Manufactura del soporte para la celda de cuarzo

La pieza mostrada en la Figura 186 se manufacturó con la unión de un conjunto de cortes de tablas de MDF siguiendo las medidas de la pieza original que indica el plano de este elemento. Los barrenos se realizaron con ayuda de un taladro y una broca de 1.5cm de diámetro. Finalmente, dicho soporte cuenta con 3 ventanas ópticas diseñadas para realizar un análisis de turbidimetría y nefelometría.

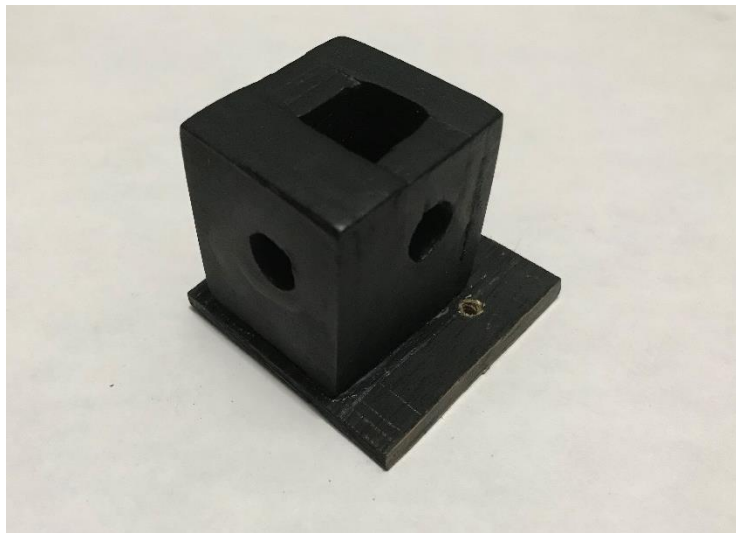


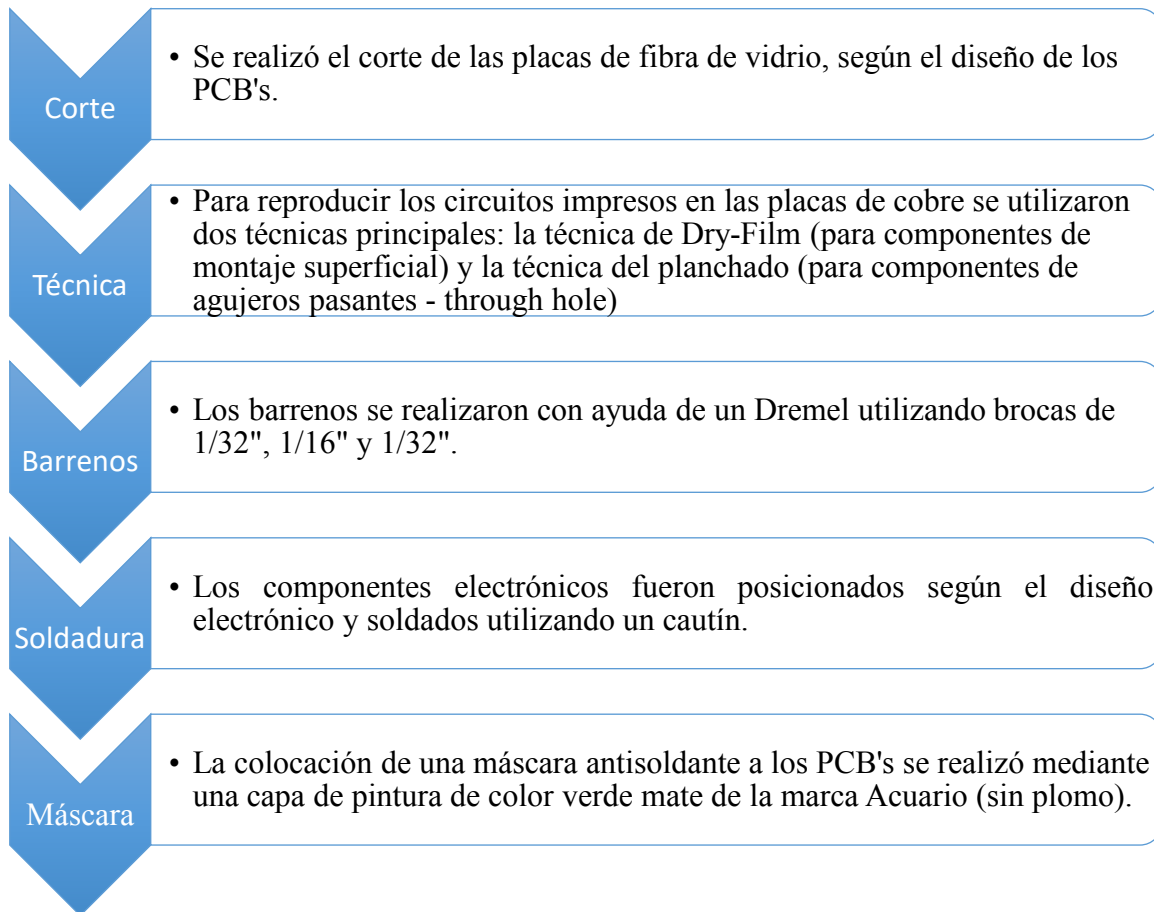
Figura 186. Soporte manufacturado para la celda de cuarzo.

Observaciones:

- Para afinar detalles de las paredes internas y externas de la pieza se utilizó una lija fina de agua, dado a que el soporte por dentro tiene que ser lo más fino posible para no dañar a la celda de cuarzo que es el elemento que contendrá a las muestras.

4.2 Manufactura del sistema eléctrico y electrónico

El proceso general para la manufactura de los circuitos electrónicos es el que se muestra en el siguiente esquema.



A partir de esto, en la Tabla 43 se puede ver el listado de las diversas herramientas e instrumentos de medición utilizados para la fabricación de las placas de PCB's.

Tabla 43. Herramientas e instrumentos utilizados para la manufactura de los PCB's

Herramientas	Instrumentos de medición	Material
Dremel	Multímetro	Soldadura
Cautín	Vernier electrónico	Hojas de Dry-Film
Secadora de cabello	Flexómetro	Flux
Mini atril con lupa		Grasa para soldar
Desarmadores y pinzas		Malla para desoldar

Con base al procedimiento descrito anteriormente, a continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada una de las PCB's manufacturadas para cada sistema.

Observaciones:

- Se tuvieron algunos inconvenientes para conseguir el material de manufactura por el método de Dry-Film así como para soldar los componentes de montaje superficial, sin embargo, en los resultados finales de los circuitos electrónicos, estos se comportaron de la manera esperada.

4.2.1 Tarjeta de control

A continuación, se muestra en la Figura 187 el resultado de la fabricación de la tarjeta de control.

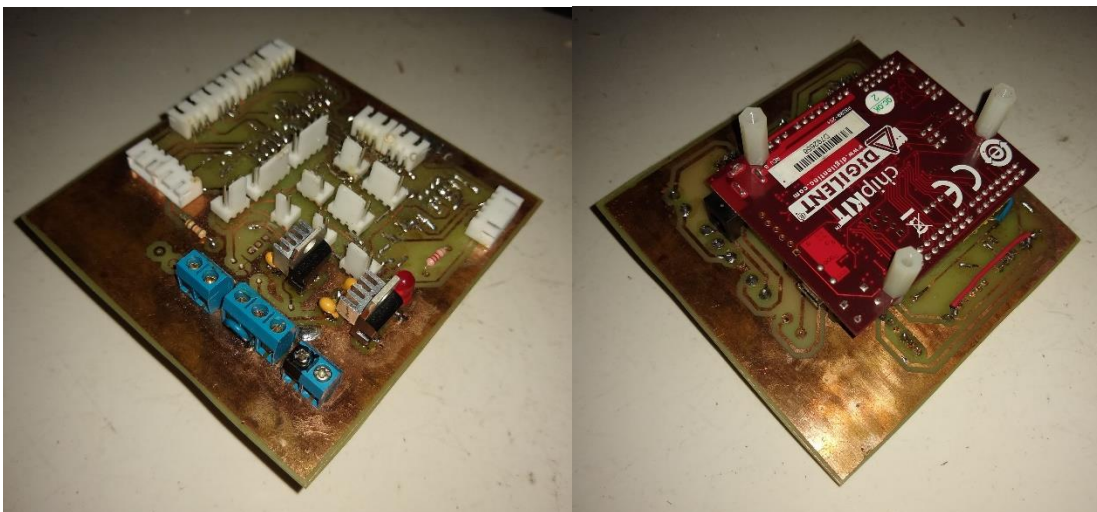


Figura 187. Tarjeta de control manufacturada y montada en la tarjeta ChipKIT uC32

Observaciones

- Fue complicado soldar por debajo de los conectores dupont JST-XH de 2.54mm, debido a que la placa es de doble cara y los pines son machos. Pero a pesar de ese obstáculo, se lograron soldar estos elementos, solo que en algunos casos fue necesario agregar puentes con cables para mantener la continuidad de las señales.

4.2.2 Circuito obturador eléctrico

A continuación, en la Figura 188 se muestra el resultado de la manufactura del circuito obturador eléctrico.



Figura 188. Circuito obturador eléctrico manufacturado.

Observaciones:

- Es recomendable tener conocimientos sobre técnicas de soldado para componentes de montaje superficial (SMD) para procurar no dañar a los circuitos integrados que se utilizaron en el funcionamiento de esta placa electrónica.

4.2.3 Circuito revolver de fuentes de luz

En la Figura 189 se puede apreciar el revolver de las fuentes de luz manufacturada.

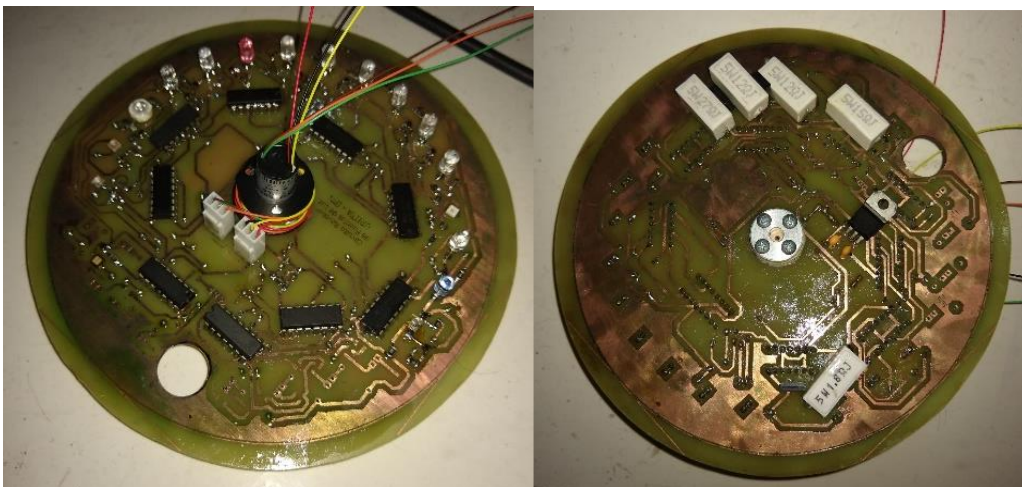


Figura 189. Circuito Revolver de fuentes de luz manufacturado, vistas anverso y reverso.

Observaciones:

Para la manufactura de esta placa fue vital que el corte fuera circular, debido a que esta placa estará en constante movimiento rotacional. Por lo cual, para lograr el corte en círculo se adaptó el espacio de trabajo de un router para madera utilizando una broca de tungsteno como se muestra en la Figura 190.



Figura 190. Corte en círculo del Revolver de Fuentes de Luz.

En este espacio de trabajo se colocó la placa de PCB de fibra de vidrio sobre una guía en el centro, para que posteriormente la broca perforará y cortará el material cuando este se empuja con las manos hacia la broca. Cabe mencionar que la broca sufrió un desgaste rápido, debido a que no está hecha para cortar fibra de vidrio pero afortunadamente soportó el proceso de corte en círculo de la placa.

4.2.4 Espectrofotómetro y sensor UV

A continuación, en la Figura 191 se muestra la placa de PCB fabricada del espectrofotómetro y el sensor UV.

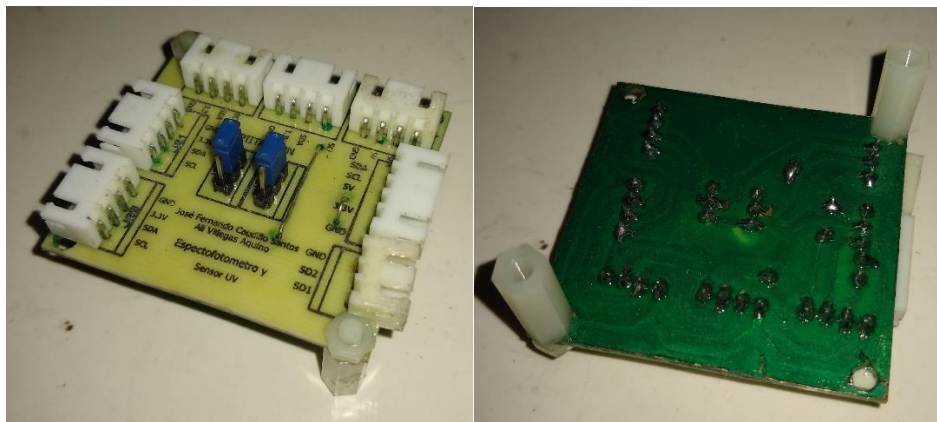


Figura 191. Circuito del Espectrofotómetro y sensor UV manufacturado.

Observaciones

- Debido a que el proyecto se está desarrollando sin laboratorios especializados, no se cuenta con la instrumentación necesaria para acondicionamiento el sensor analógico UV, ya que se requiere ver la señal con el osciloscopio y diseñar algunos filtros para mitigar el ruido. Por lo explicado anteriormente, se optó por reemplazar el sensor analógico UV por otro sensor con características similares pero que ya estuviese acondicionado. Así se encontró el sensor UV VEML6070 que envía sus datos por comunicación I2C, esto nos facilitó el circuito debido a que el sensor Espectrofotómetro también se comunica utilizando I2C, por lo que esta placa básicamente se encarga de unir las comunicaciones de los sensores de la nefelometría y turbidimetría en un solo protocolo de comunicación por I2C.
- Una de las desventajas que presenta el sensor UV VEML6070 al igual que el espectrofotómetro Sparkfun, es que no es posible cambiar la dirección para ubicar dos sensores iguales en el bus de comunicación I2C, por lo que se optó en controlar el encendido y apagado de los sensores ópticos por medio de pines digitales.

4.2.5 Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV

Se muestra en la Figura 192 la placa de PCB fabricada, correspondiente al circuito de potencia de encendido de la lámpara UV.

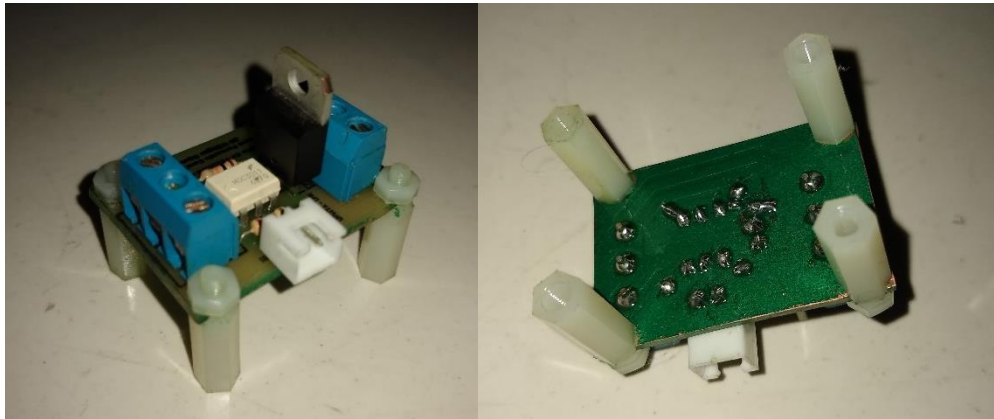


Figura 192. Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV manufacturado.

4.2.6 Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto

Se presenta en la Figura 193 el circuito terminado correspondiente a los detectores de barrera infrarrojos activo en bajo y el interruptor activo en alto.

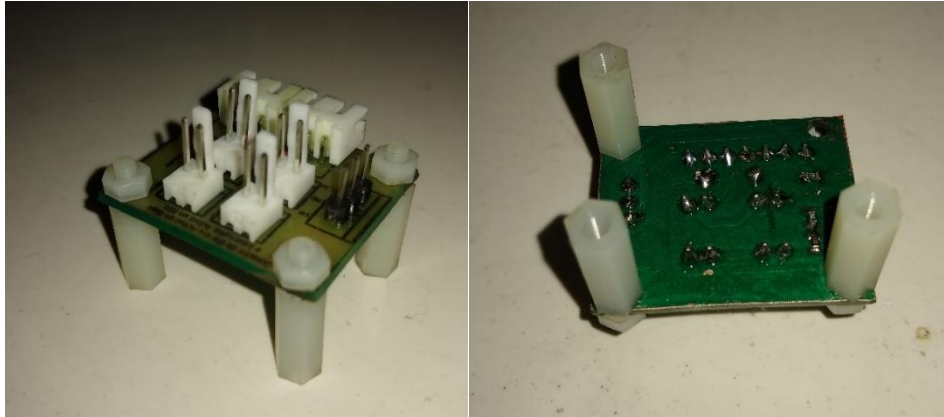


Figura 193. Circuito de detector de barrera infrarrojo manufacturado.

4.2.7 Circuito de PWM, Motorreductor y Amplificador

En seguida se muestra la placa de PCB fabricada correspondiente al circuito de PWM, Motorreductor y Amplificador, en la Figura 194.

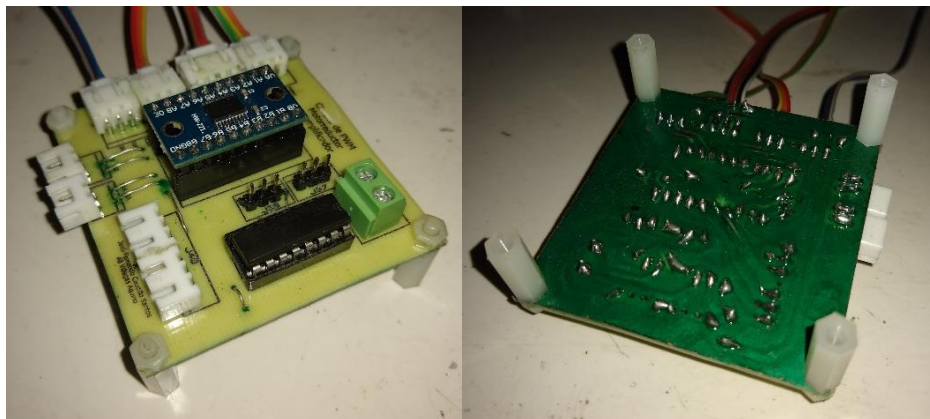


Figura 194. Circuito de PWM, Motorreductor y Amplificador manufacturado.

Observaciones:

El diseño original del circuito presentó fallas debido al diseño de algunas de las pistas, esto afectaba directamente a las señales PWM que no lograban amplificarse, por lo que se optó modificar el diseño y utilizar un convertidor de nivel lógico 5V – 3.3V bidireccional de 8 canales.

Esta modificación resulto eficaz porque amplificaba la tensión de las señales de la ChipKIT uC32 de 3.3V a 5V para hacer funcionar a los servomotores, al puente H para el control de velocidad del motor CD y los pines de control para el revolver de fuentes de luz. Por lo que en total se utilizaron 6 de los 8 canales que ofrece el integrado. Dejando dos canales libres para utilizarlos en un futuro en algún circuito que lo requiera.

4.2.8 Circuito de potencia de motor a pasos

En la Figura 195 se puede apreciar el circuito para el control del motor a pasos.

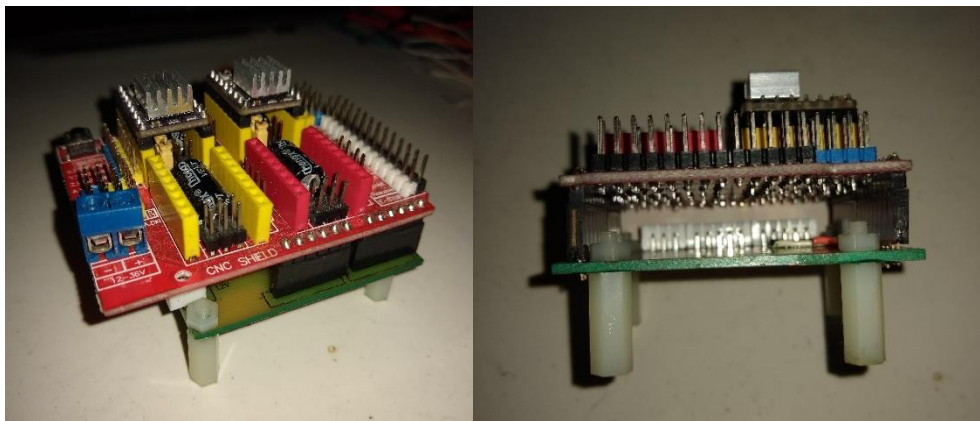


Figura 195. Circuito de potencia de motor a pasos manufacturado.

Observaciones:

El diseño original de este circuito presentaba el uso de las Easy Driver, pero resultó que no eran muy eficientes debido a que cuando los motores a pasos tenían cargas en su eje, el driver no era capaz de suministrar la suficiente corriente a los motores y estos perdían potencia. Por lo anterior, se buscó otro método para poder alimentar adecuadamente a los motores, por tal motivo se utilizó una CNC Shield con los drivers DRV8825. Este circuito no presentó problema alguno para suministrar la corriente que requería los motores. Pero es importante mencionar que los drivers deben tener una buena disipación de calor, ya que en algunas ocasiones por el uso continuo este puede llegar a elevar la temperatura dañando gravemente al driver.

4.2.9 Circuito de transductor ultrasónico

Este apartado no se ha realizado debido a la decisión colectiva del jurado de suprimir de los objetivos correspondientes del sistema acústico debido a las condiciones en que actualmente nos encontramos por la pandemia de COVID – 19 y que no contamos con la instrumentación ni los laboratorios pertinentes que posibiliten el correcto desarrollo de esta sección.

4.3 Programación del microcontrolador e interfaz gráfica

La comunicación que se establece entre el microcontrolador y la interfaz gráfica instalada en la PC es por medio de una trama de datos, la cual es un enlace que es responsable de la transferencia fiable de información a través de un circuito eléctrico de transmisión de datos. Este último, se realiza a través de unidades de información con sentido lógico para el buen intercambio de datos entre diferentes dispositivos. La trama de datos que envía el software (interfaz gráfica) al microcontrolador se muestra a continuación en la Tabla 44.

Tabla 44. Trama de Datos del Software al Microcontrolador.

Cabecera de cada Trama	Información de la Trama
A	Número de muestras dado por el usuario
B	Promedio de las medidas dado por el usuario
C	Número de Fuente de luz a encender
D	Selección de tipo de obturación (0 – Para señal cuadrada) (1 – Para señal continua)
E	Valor del Potenciómetro digital
F	Tipo de Análisis (1 – Nefelométrico) (0 - Acústico)
G	Bit de señalar que la maquina se encuentra lista para trabajar (1 - Listo)
H	Selección la lectura de tipo de intensidad (Leer $I_0 - 0$) (Leer I_1 y $I_2 - 1$)
I	Selección de leer todos los sensores (1 – Leer todos los sensores)
Z	Fin de la Trama

En el caso de las tramas de datos que se envían del microcontrolador al software (interfaz gráfica) se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45. Trama de Datos del Microcontrolador al Software.

Cabecera de cada Trama	Información de la Trama
M	Número de muestras que midió el dispositivo
N	Lectura del valor de la Intensidad Lumínica
O	Bit de Tipo de Intensidad ($I_0 - 1$) ($I_1 - 1$) ($I_a - 2$)
P	Selección de tipo de obturación (0 – Para señal cuadrada) (1 – Para señal continua)
Q	Valor del Potenciómetro digital

A partir de estas tramas, los procesos para llevar a cabo la comunicación entre el software y el microcontrolador se presentan en la Figura 196.

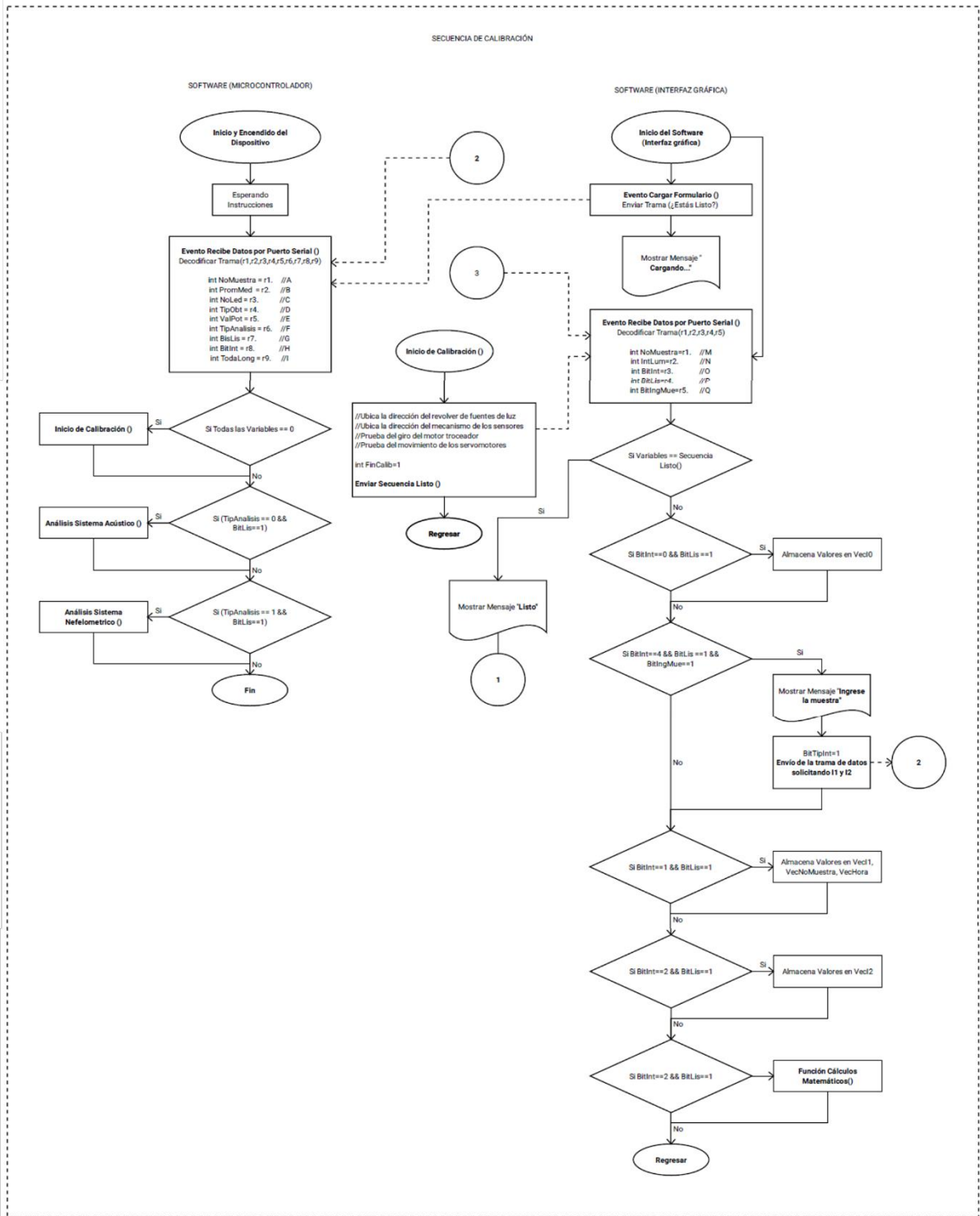


Figura 196. Diagrama de Flujo de la secuencia de calibración entre el microcontrolador y el software.

En el diagrama de la figura anterior se aprecia una secuencia de calibración en la cual primero el software le envía un bit por medio de la trama de datos al microcontrolador, esta es una señal para que corrobore el funcionamiento de todas las partes móviles, entonces el micro prueba el funcionamiento y ubica la dirección cero del revolver de fuentes de luz, ubica la posición cero del mecanismo de los sensores, prueba el funcionamiento de los servomotores y finalmente prueba el encendido y apagado de las fuentes de luz disponibles en el revolver.

Una vez que el microcontrolador concluye la secuencia anterior le envía una trama a la interfaz gráfica mencionando que se encuentra lista y espera las instrucciones de medición que indique el usuario.

La Figura 197 complementa a la Figura 196, ya que se aprecia que enseguida el usuario selecciona la configuración de las fuentes de luz, así como el número de medidas que desea realizar y estos parámetros se envían mediante una trama por puerto serial.

Cuando la trama llega al microcontrolador, primero verifica si se trata de un análisis nefelométrico o acústico. Después ejecuta todas las secuencias de pasos que se muestran en la Figura 197, donde evalúa si se trata de un barrido espectral utilizando todas las longitudes de onda disponibles para obtener una gráfica de absorción o bien se trata de una medida específica en una sola longitud de onda para que se pueda mostrar una concentración aproximada. En las siguientes secuencias también se observa que se realizan los movimientos pertinentes para posicionar al revolver de led y a los sensores ópticos, para posteriormente empezar a hacer lecturas y enviarlas por puerto serial a la interfaz gráfica para que este concluya con los cálculos.

Todos los valores que envía el microcontrolador se almacenan en vectores dentro de la interfaz gráfica para su posterior uso en los cálculos de la ecuación explícita de la recta que se obtiene con las curvas de calibración en base a ley de Lambert y Beer para mostrar una concentración aproximada según la sustancia a analizar.

Finalmente, los valores calculados y obtenidos se muestran en una tabla de la interfaz gráfica, donde el usuario los puede observar, obteniendo la gráfica correspondiente o bien exportando los datos en una hoja de Excel.

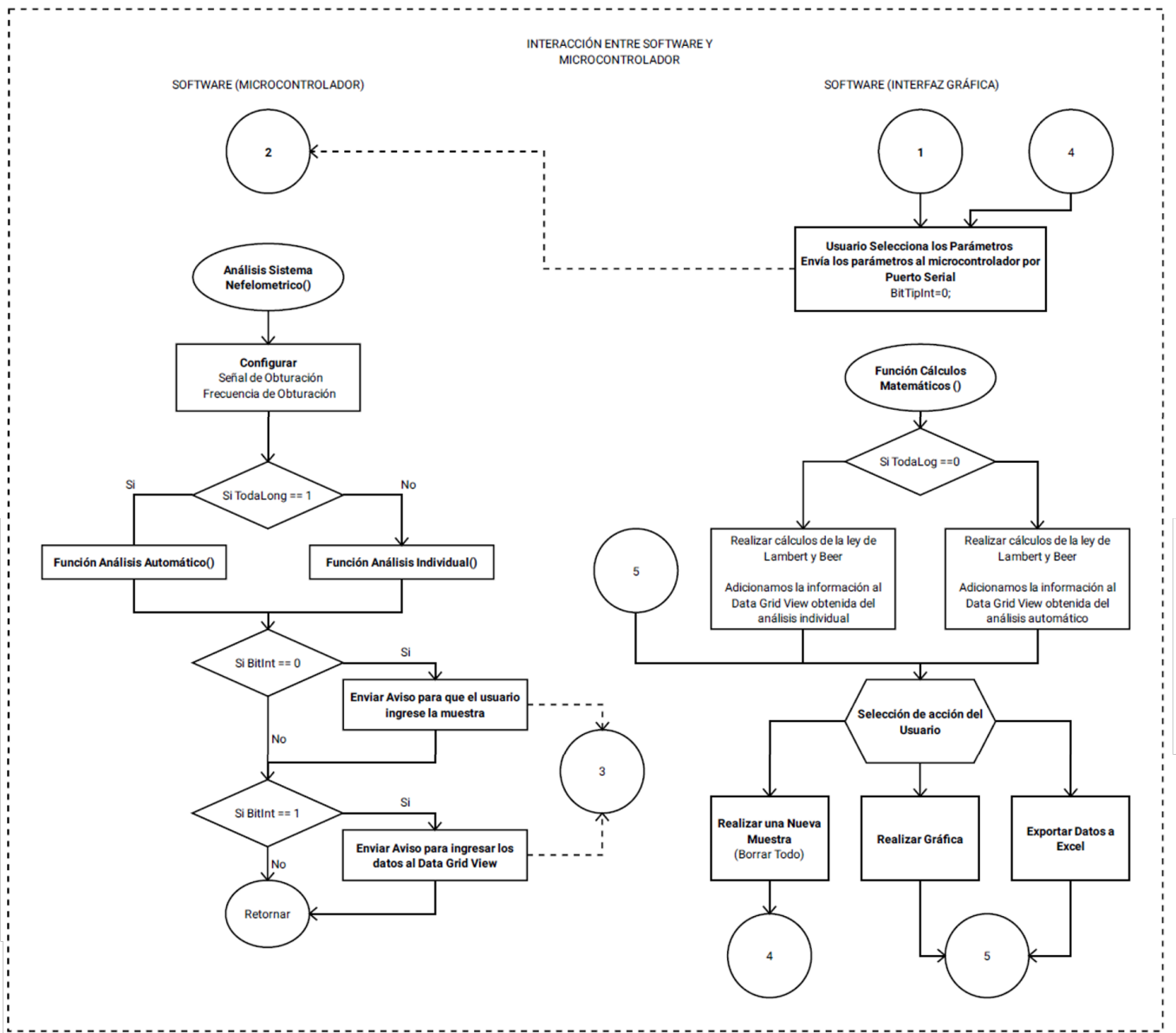


Figura 197. Diagrama de flujo de procesos internos en el microcontrolador y la interfaz gráfica.

A continuación, en la Figura 198, se muestran las funciones que realizan el posicionamiento de las fuentes de luz y las lecturas de los sensores ópticos del análisis del espectro completo de una muestra y el análisis de concentración de una sola longitud de onda.

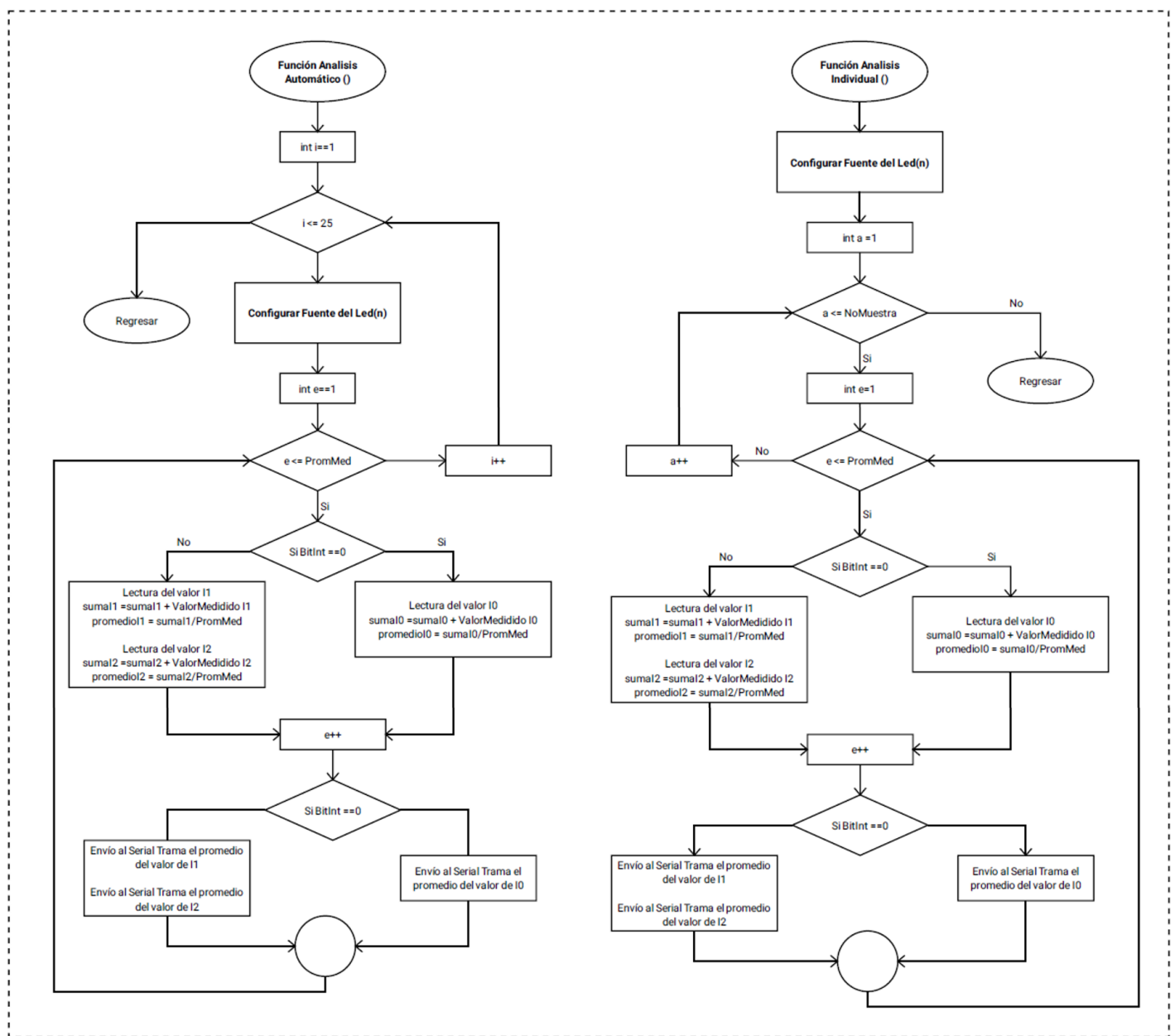


Figura 198. Funciones de los tipos de análisis del microcontrolador.

La interfaz gráfica, en donde el usuario puede interactuar con el dispositivo se muestra en la Figura 199. Aquí se aprecia un menú en donde el usuario puede escribir el nombre de la muestra, seleccionar el tipo de análisis a realizar, el número de muestras, el promedio de las medidas, así como la longitud de onda que se utilizará para medir.

En la sección “configurar muestra” el usuario tiene la opción para que el dispositivo realice un análisis con el espectro completo utilizando todas las longitudes de onda disponibles o bien solo utilizar el análisis de una sola longitud de onda.

También el usuario es capaz de seleccionar el tipo de señal y la frecuencia de obturación de la señal y por supuesto, elegir la sustancia que va a analizar, esta sustancia tiene una ecuación particular de calibración asignada que da como resultado una concentración aproximada de la muestra que el usuario esté ingresando.

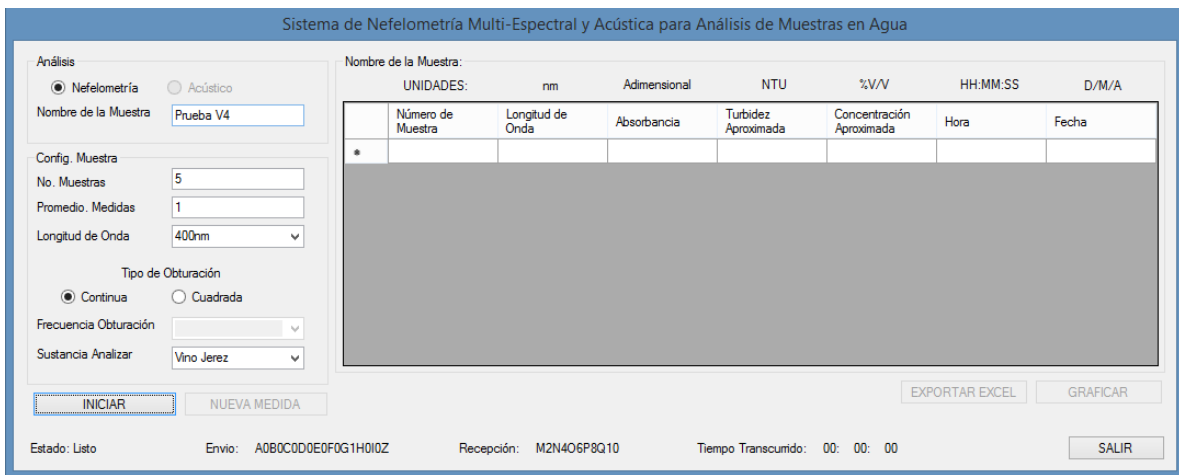


Figura 199. Interfaz Gráfica del Sistema de Nefelometría hecho en SharpDevelop.

Una vez que el usuario haya ingresado todos los parámetros para poder llevar a cabo el análisis de la muestra, debe de presionar el botón llamado “INICIAR”, donde el programa le muestra un mensaje al usuario que indica que no ingrese la muestra (Figura 200).

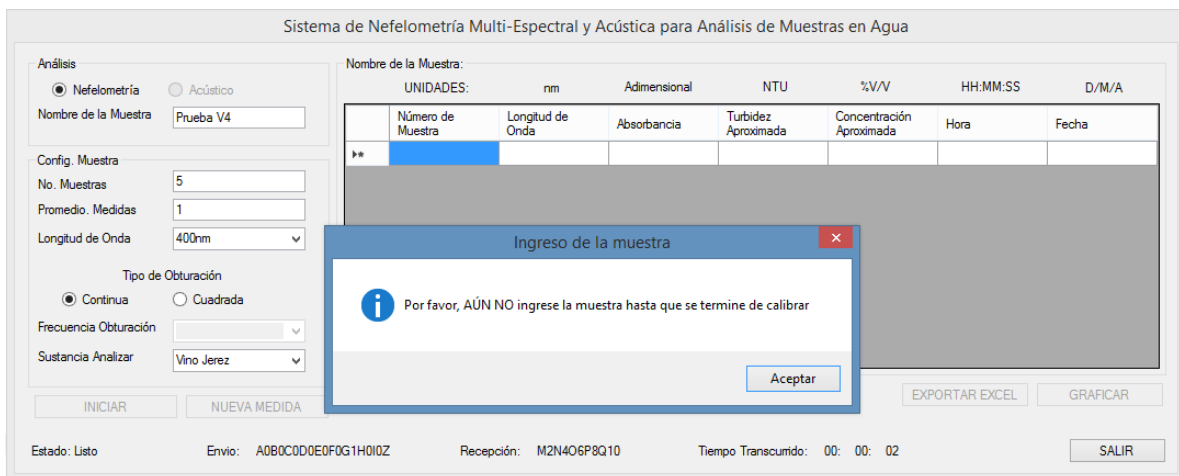


Figura 200. Mensaje de inicio para un proceso de medición de muestras.

Durante esta primera etapa del análisis, el dispositivo tomará la lectura de la luz emitida por el diodo led. Enseguida, cuando el dispositivo ya ha tomado las lecturas de la luz emitida del diodo led, el software envía un nuevo mensaje, indicando que el usuario ya puede ingresar la muestra dentro del dispositivo para terminar con su análisis como se aprecia en la Figura 201. Durante este proceso el programa toma las medidas de la luz transmitida y la luz esparcida.

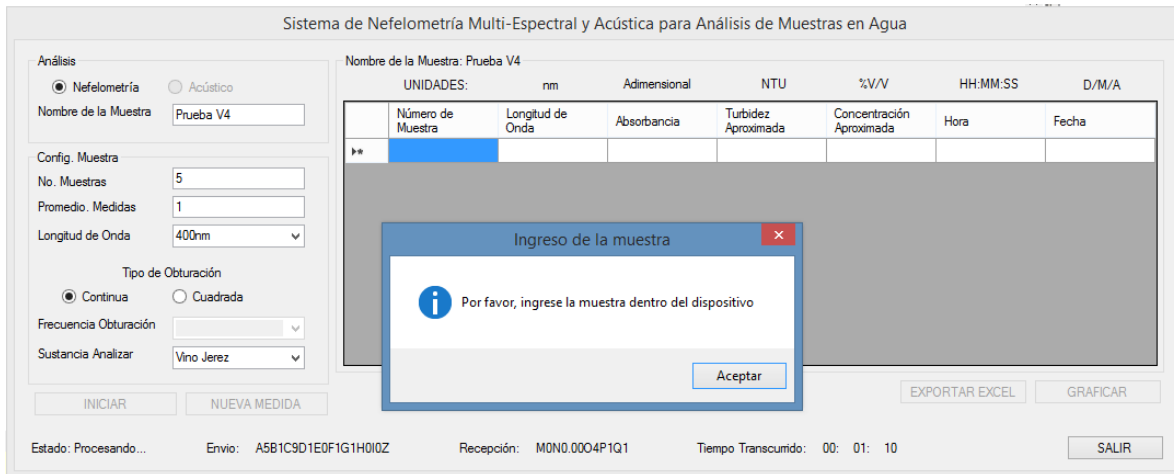


Figura 201. Mensaje de ingreso de la muestra.

Cuando el software recibe las medidas de la luz emitida, luz esparcida y luz transmitida. Se procede a realizar el cálculo matemático, obteniendo la absorbancia, y posteriormente utilizando la curva de calibración de cada sustancia para poder mostrar una concentración aproximada de la muestra.

Todos los valores obtenidos, el software lo muestra en una tabla. Este análisis puede demorar un poco dependiendo de las configuraciones que elija el usuario por lo que cuando el análisis finaliza el programa le avisa mediante un mensaje de texto que ha terminado de realizar el análisis de la sustancia especificada. Cada mensaje tiene un sonido para que el usuario tenga el conocimiento de que el análisis de la muestra ha finalizado. Esto lo podemos observar en la Figura 202.

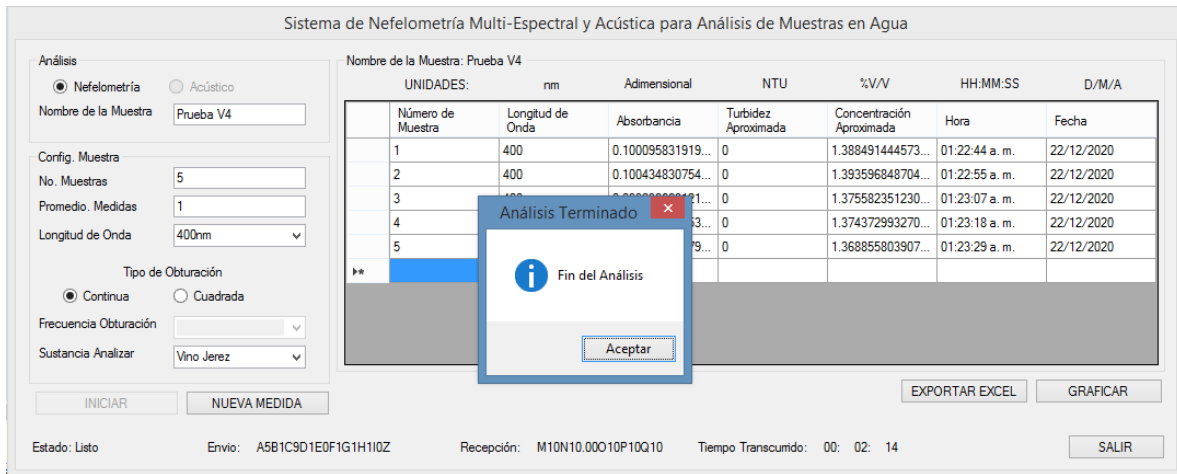


Figura 202. Mensaje de aviso de fin de análisis.

Teniendo los datos del análisis en la tabla del programa, el usuario puede graficar los resultados obtenidos. Si se realiza un análisis particular de una sola longitud de onda, se mostrará una gráfica como la de la Figura 203, donde se grafica el número de muestras contra la absorbancia. En caso de realizar un análisis barriendo el espectro completo, se mostrará una gráfica de la longitud de onda contra absorbancia.

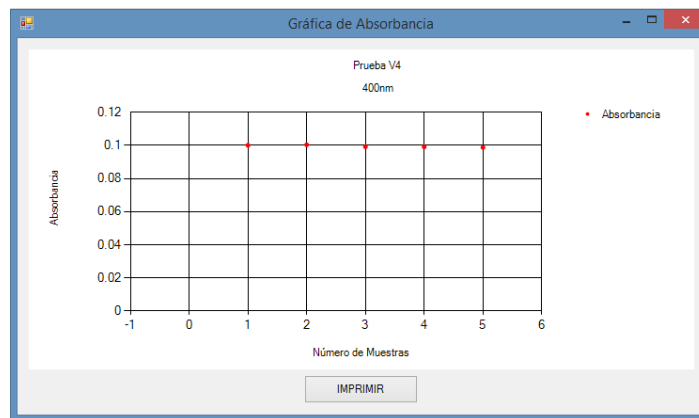


Figura 203. Gráfica de absorbancia para una muestra.

Si el usuario desea almacenar los datos obtenidos del experimento, el software ofrece la opción de exportar los datos a un archivo de Excel, para que el usuario pueda tratar los datos con algún otro programa o realizar algún otro tipo de gráficas. En la Figura 204, se muestra cómo los datos se exportan a una tabla en Excel.

Hoja1 - Microsoft Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA COMPLEMENTOS EQUIPO

Calibri 11 A A Ajustar texto General

Pegar Fuente Alineación Número Estilos

Formato condicional Dar formato como tabla

A1 Prueba V4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Prueba V4										
2	Muestra	LongOnda	Absorbancia	Turbidez	Concentraci	Hora	Fecha				
3	1	400	0.10009583	0	1.38849144	01:22:44 a. m	22/12/2020				
4	2	400	0.10043483	0	1.39359685	01:22:55 a. m	22/12/2020				
5	3	400	0.09923867	0	1.37558235	01:23:07 a. m	22/12/2020				
6	4	400	0.09915837	0	1.37437299	01:23:18 a. m	22/12/2020				
7	5	400	0.09879203	0	1.3688558	01:23:29 a. m	22/12/2020				
8											

Figura 204. Exportación de datos a Microsoft Excel.

Para finalizar cuando el usuario ya no desea realizar más experimentos en el dispositivo, el programa le pregunta si realmente desea salir, ya que volver a iniciar el programa implica que el sistema compruebe el funcionamiento de todos sus módulos, como motores a pasos, trocadores, fuentes de luz y servomotores por lo que puede demorar de 2 a 3 minutos. Una vez que el usuario confirma, el programa se termina de ejecutar y finaliza, e internamente el microcontrolador entra en un estado de espera hasta que el software se vuelva a comunicar con el microcontrolador. En la Figura 205 se muestra el mensaje de salida que envía el programa al usuario.

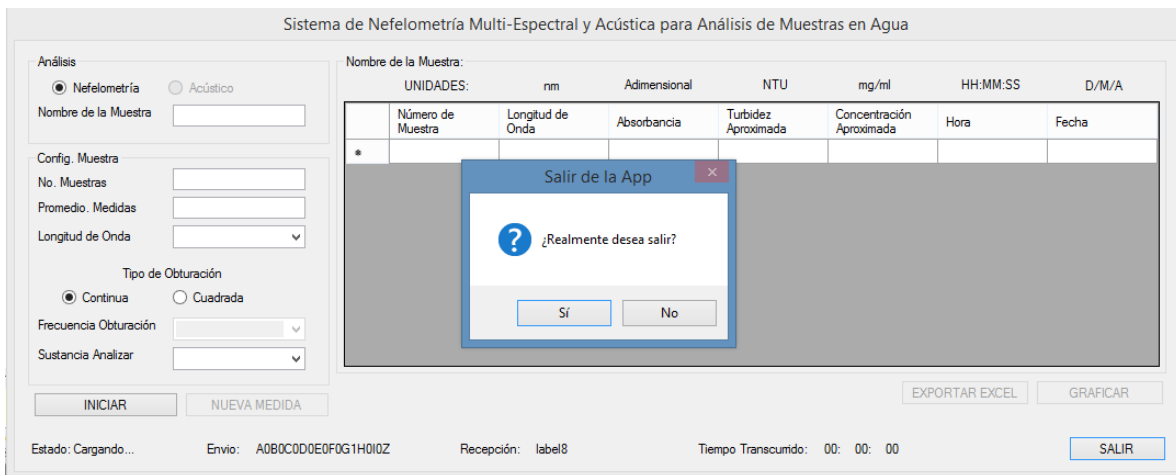


Figura 205. Mensaje de salida.

4.4 Ensamble del prototipo y pruebas de funcionamiento

A lo largo de esta sección, se muestra el proceso seguido para el ensamble de los elementos principales de cada uno de los sistemas, así como los resultados de las pruebas contempladas de mayor importancia.

4.4.1 Montaje de los circuitos electrónicos

La manera en que se acomodaron los circuitos electrónicos dentro de la estructura principal fue estratégica, esto dependiendo de donde se encontraba la ubicación de los elementos móviles a los que tenían que ir conectadas.

En la Figura 206 se aprecia la tarjeta principal cuya función es ordenar los puertos de la ChipKIT hacia los diferentes módulos electrónicos. También se puede observar la placa del circuito troceador eléctrico, la placa controladora de los motores a pasos y la placa controladora de los detectores de barrera activos en alto y el detector de pulso.

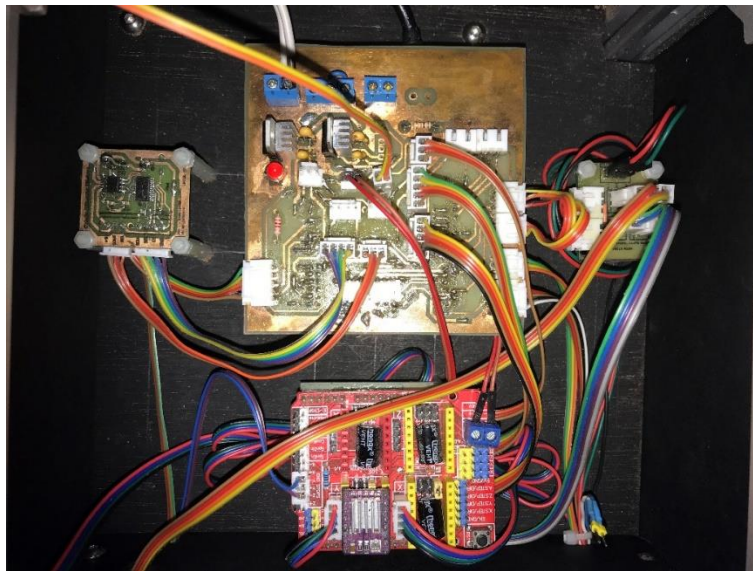


Figura 206. Montaje de los circuitos electrónicos en la estructura general.

Los cables de conexión se cortaron a la medida, según la distancia requerida y utilizando los conectores adecuados que necesita cada placa para su comunicación. A pesar de que la mayoría de los circuitos quedaron ubicados en el espacio designado dentro de la estructura, hay algunos que no fue el caso. La placa electrónica que controla los servomotores y motor troceador se ubicó cerca del mecanismo de los sensores ya que de esta forma se encuentra cerca de las conexiones de los servomotores que posicionan a los sensores. Y la placa del encendido y apagado de la lámpara UV se ubicó en el segundo nivel de la estructura del dispositivo para separar la electrónica de baja potencia con la electrónica de potencia.

4.4.2 Pruebas del circuito obturador eléctrico

Teniendo montados a los circuitos electrónicos dentro de la estructura, se realizaron diferentes pruebas para verificar el funcionamiento del obturador eléctrico, las cuales se hicieron con ayuda de la tarjeta ChipKIT y la placa principal manufacturada. Así, se programó mediante SPI a los 2 potenciómetros digitales que se encuentran conectados a un circuito integrado NE555, para así generar una señal de obturación a diferentes frecuencias, las cuales fueron medidas con ayuda de un multímetro y observadas a través de un led blanco conectado a esa misma señal.

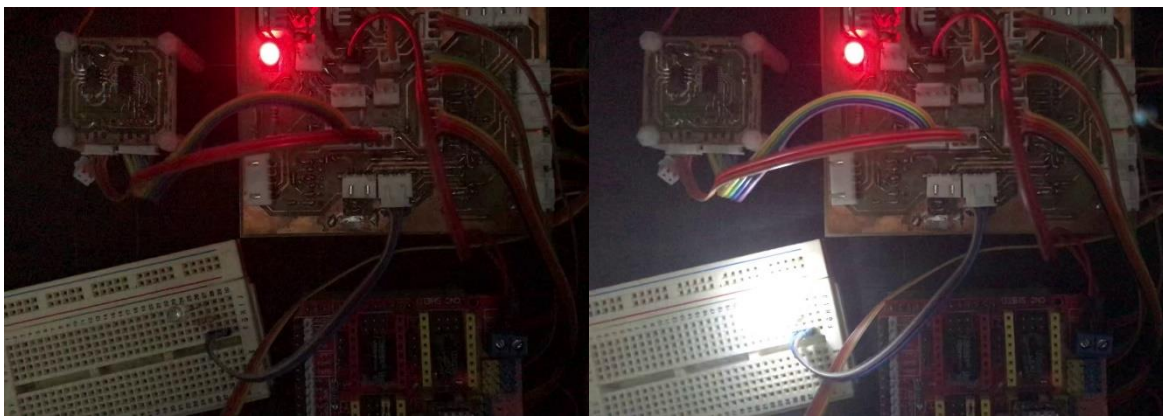


Figura 207. Pruebas de funcionamiento del obturador eléctrico con un led blanco conectado a la señal de salida.

Una vez corroborado el correcto funcionamiento del troceador eléctrico, se construyó la lista de frecuencias que se observa en la Tabla 46, en donde se muestran únicamente aquellas que serán de utilidad para la obturación de las fuentes de luz del revolver de leds.

Tabla 46. Frecuencias generadas del circuito obturador.

Posición del potenciómetro	Frecuencia	Posición del potenciómetro	Frecuencia
19	7Hz	201	30Hz
49	8Hz	210	36Hz
72	9Hz	215	40.2Hz
90	10Hz	219	44.5Hz
105	11Hz	223	50Hz
117	12Hz	229	61Hz
128	13Hz	233	71.2Hz
137	14Hz	236	82Hz
145	15Hz	238	91Hz
152	16Hz	240	101Hz
158	17Hz	244	135Hz

164	18Hz	246	161Hz
169	19Hz	248	200Hz
173	20Hz	251	315Hz
177	21Hz	252	391Hz
181	22Hz	253	514Hz
184	23Hz	254	750Hz
187	24Hz	255	1400Hz
190	25Hz		

Se lograron generar un total de 37 señales con frecuencias diferentes entre 7Hz y 1.4kHz. Es importante mencionar que entre mayor es la resistencia del potenciómetro digital, la frecuencia se vuelve pequeña y viceversa, sin embargo, al momento en que la resistencia va disminuyendo, la resolución de la frecuencia también lo hace, por lo cual entre las posiciones 240-255 del potenciómetro los cambios entre frecuencias tienen una diferencia muy grande.

4.4.3 Ensamble del mecanismo de posición de los receptores ópticos

Como se observa en la Figura 208, para ensamblar el sistema de sensores, primero se montó en el soporte que se manufacturó a los servomotores asegurándolas con tornillos para madera. En seguida se aseguró la hélice al eje del servomotor y se colocó los sujetadores de los sensores espectrofotómetros a la hélice colocando dos tornillos con sus respectivas tuercas. Y finalmente se sujetó el sensor espectrofotómetro a la base con dos tornillos a los extremos del sensor. En el caso del sensor UV, solo se aseguró a su base con dos tornillos para madera. Todos los cables se colocaron de tal manera que no interfiriera con el libre giro de los servomotores.

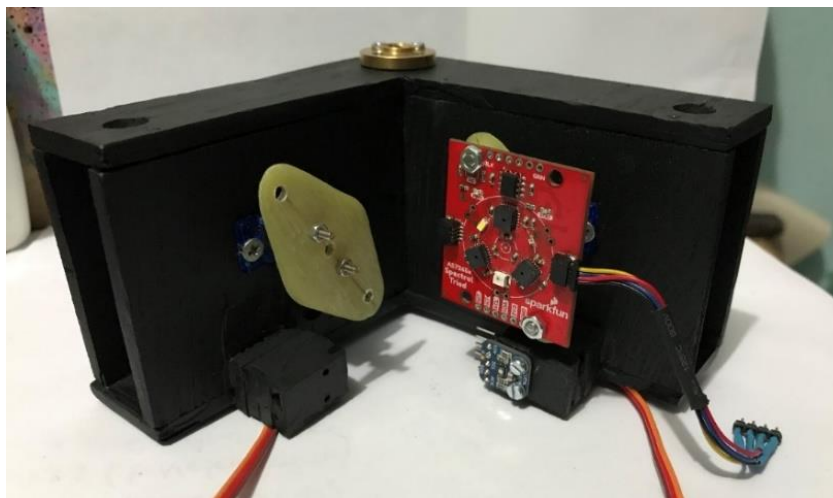


Figura 208. Ensamble de los sensores ópticos en su soporte.

Una vez montados los sensores ópticos en su soporte, se colocó la tuerca ACME en la parte superior del soporte y se incorporó al tornillo sin fin M8, junto con las barras guías que van a los extremos de la pieza. Cada una de las barras guías esta soportada por una chumacera asegurada con dos prisioneros lo que evita el movimiento y juego mecánico al ascenso y descenso del mecanismo.

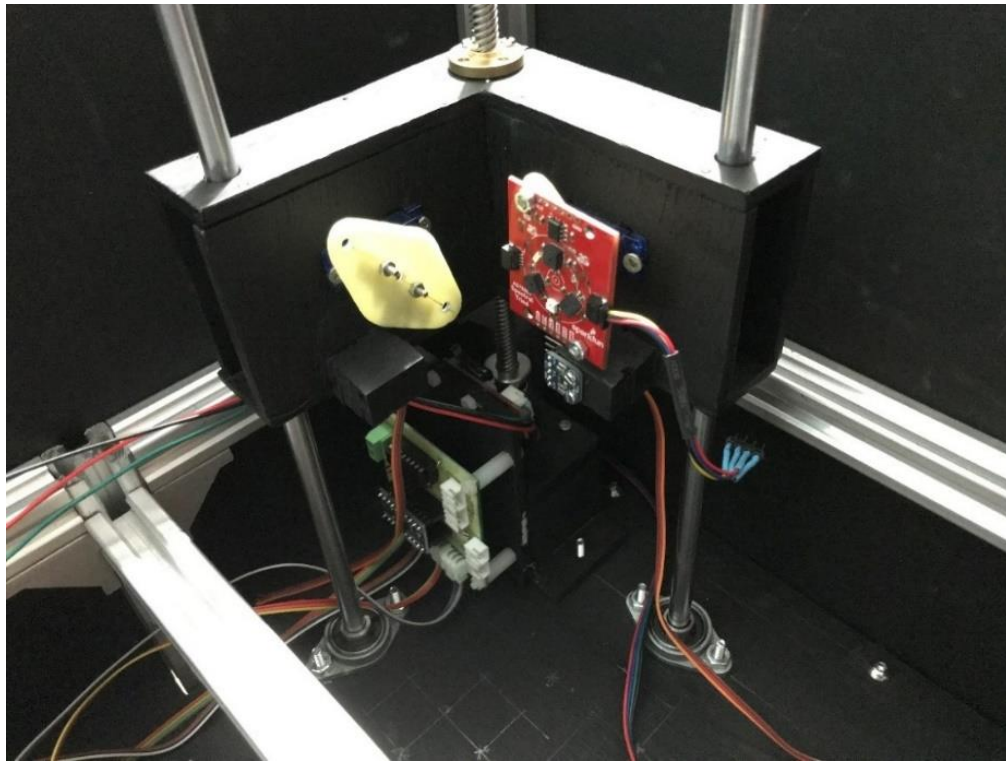


Figura 209. Ensamble de mecanismo de los sensores ópticos.

Para completar la transmisión de movimiento del mecanismo, se acopló el tornillo sin fin al eje del motor a pasos fijado en la estructura general, lo cual se realizó con un ayuda de un cople de aluminio flexible. En la Figura 209 se puede observar el montaje final del mecanismo que soporta a los sensores ópticos.

4.4.4 Pruebas de ascenso y descenso del mecanismo de posición de los receptores ópticos

En este sistema primero se probó que el soporte tuviera una correcta alineación y que pudiera desplazarse correctamente sobre las guías, esto sin presentar demasiadas vibraciones. Para ello, se programó el motor a pasos para que girara en un sentido durante 5 segundos y posteriormente invirtiera su giro durante 5 segundos, esto de forma cíclica. En la Figura 210 se puede observar la prueba realizada.

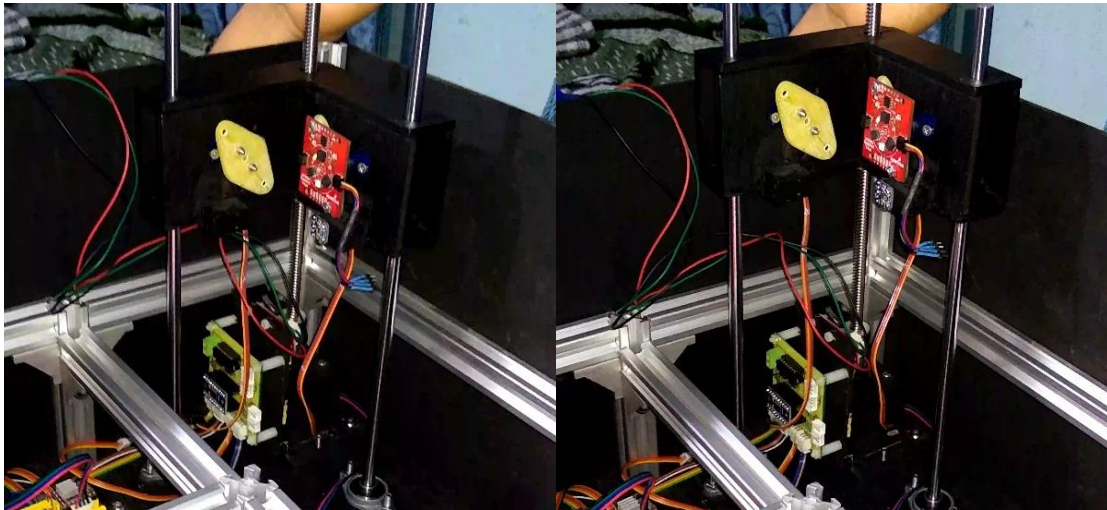


Figura 210. Prueba de ascenso y descenso realizada al mecanismo de los receptores ópticos.

De esta manera se comprobó que sí es necesario el uso del soporte superior en el mecanismo para asegurar que el soporte de los sensores se desplace correctamente de forma vertical y sin juego, lo cual no ocurrió en la prueba debido a que se presentaron ligeros movimientos no deseados en los tubos guía. La colocación de este soporte se muestra en la Figura 211.



Figura 211. Soporte superior para guiar al mecanismo de posición de los receptores ópticos.

4.4.5 Ensamble del troceador mecánico

El ensamble del troceador mecánico se realizó asegurando con tornillos y tuercas la base del motor Pololu a una barra de Sintra negra, que a su vez se encontraba unida con tornillos y tuercas IPS al perfil que lo sostenía. Se manufacturó una pieza especial para poder soportar al sensor infrarrojo de herradura para leer la frecuencia de obturación del troceador. Esta pieza se aseguró con un tornillo y una tuerca a la estructura general. En la Figura 212 se puede apreciar el troceador mecánico ensamblado en la estructura.

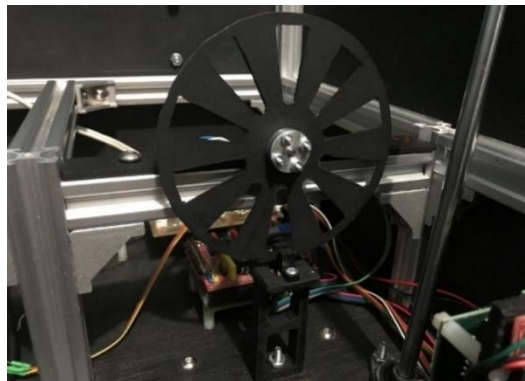


Figura 212. Ensamble del troceador mecánico en la estructura general.

4.4.6 Pruebas de encendido del revolver de fuentes de luz

El funcionamiento del revolver es simple, mediante 3 señales que se generan a través del microcontrolador y con ayuda de circuitos integrados, se realiza un corrimiento de bits. Para verificar el funcionamiento del revolver, se realizó una prueba en donde se va prendiendo individualmente y en orden de posición a cada uno de los leds con los que cuenta el disco. En la Figura 213, se pueden observar algunos leds que se encendieron durante la prueba. De esta manera se pudo encender un led en particular de una manera simple y rápida.

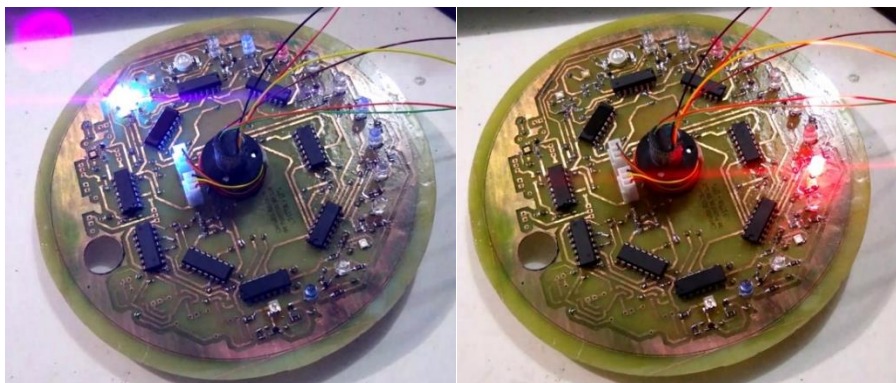


Figura 213. Prueba de encendido del revolver de fuentes de luz.

4.4.7 Ensamble del revolver de fuentes de luz

Una vez que se realizaron las pruebas suficientes para comprobar el funcionamiento del disco revolver de fuentes de luz, se pintó de negro la orilla de todo el disco revolver, debido a que el sensor infrarrojo que ubica la dirección del disco no es capaz de detectar el inicio de la dirección porque la luz infrarroja puede traspasar la fibra de vidrio por lo que se optó por pintar las orillas de negro de ambos lados.

Enseguida se aseguró con tornillos #4 – 40 de 2 pulgadas de largo el disco revolver, los cople metálicos y el anillo de conectores. El orden fue, primero colocar un cople metálico a través del disco revolver asegurándolo con tuercas y tornillos, después se colocó el segundo cople al eje del anillo de conectores, asegurándolo con un prisionero y a su vez tomando los tornillos que sobresalían del disco revolver.

Finalmente, el cople que se encuentra libre al costado contrario del slip ring en el disco revolver se aseguró al eje del motor a pasos con un prisionero. Este motor se encuentra fijo al segundo piso de la estructura con su propio soporte. En la Figura 214, se puede apreciar el ensamble del revolver de fuentes de luz sobre la estructura.

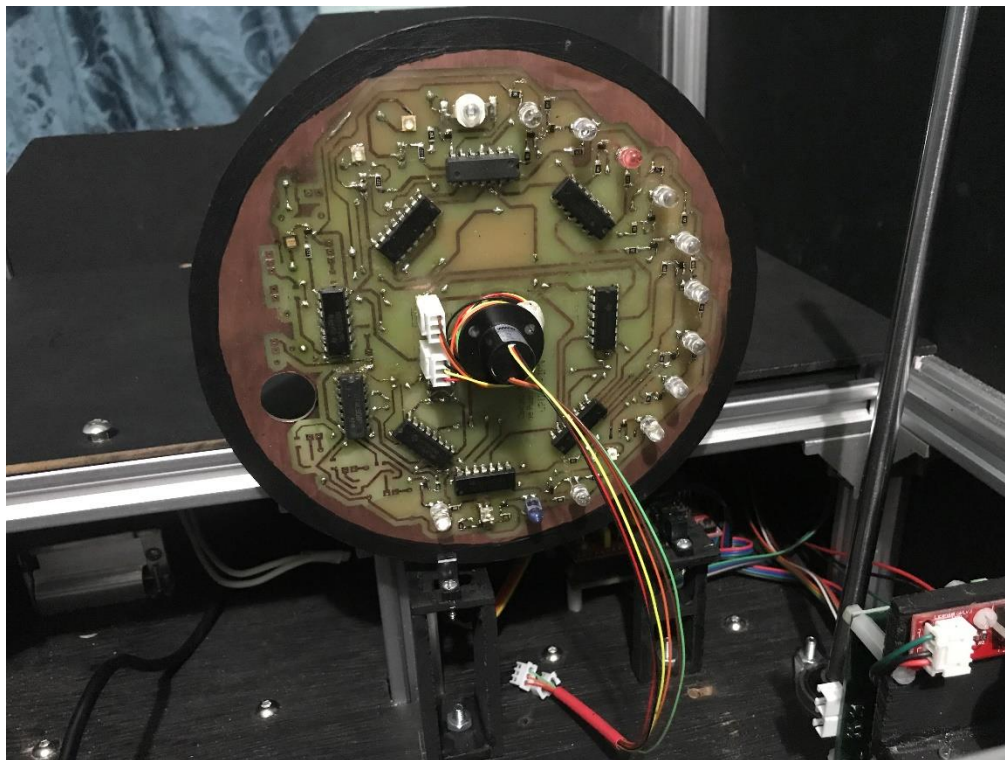


Figura 214. Ensamble del revolver de fuentes de luz en la estructura.

Una vez que el disco se encontró ubicado en la estructura general, se manufacturó una pieza que servirá como soporte del sensor infrarrojo de herradura. Este sensor es vital para conocer la posición inicial del disco revolver y podemos ubicar cualquier fuente de luz. La pieza que sostiene al sensor de herradura infrarrojo se sujetó a la base de la estructura general con un tornillo y una tuerca, ajustando la altura a la que se localiza el orificio del revolver para la correcta detección de la posición cero. Cabe mencionar que no fue necesario construir un soporte para el anillo de conectores ya que aunque el disco gire completo, los cables no se enredan ni se tuercen debido a la función del anillo de conectores.

4.4.8 Ensamble del soporte de la celda de cuarzo

Para el ensamble del soporte de la celda de cuarzo fue necesario fijar a la base de la estructura general dos perfiles IPS de 20x20 utilizando dos ángulos. Enseguida se sujetaron los extremos libres del perfil al soporte de la celda de cuarzo, también con ayuda de dos ángulos.

Ambos perfiles se encuentran asegurados con un tornillo para metal a una base en donde se asienta la pieza que soporta a la celda de cuarzo. La sujeción entre la base y la pieza que soporta a la celda de cuarzo se realizó con pegamento blanco para madera, ya que ambas piezas son del mismo material.

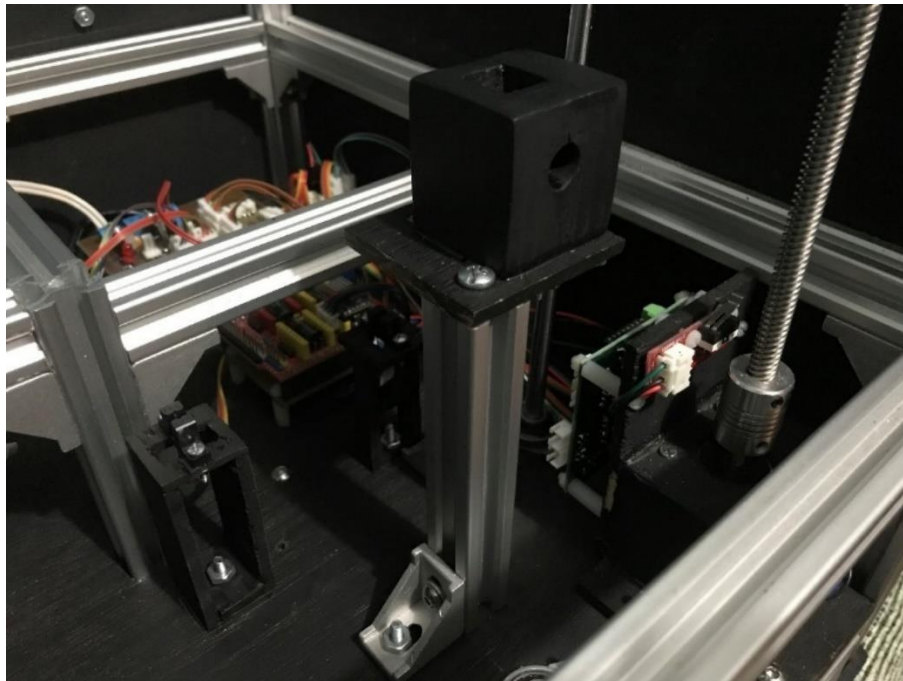


Figura 215. Ensamble del soporte de la celda de cuarzo en la estructura general.

4.4.9 Pruebas finales del mecanismo de posición de los receptores ópticos

Teniendo en posición al soporte para la celda de cuarzo, se realizaron unas nuevas pruebas con el mecanismo de posición de los sensores ópticos. Como primer parte de las pruebas, se verificó que los servomotores se posicionaran correctamente en cada uno de los 3 ángulos programados (45° , 90° y 135°) para que así se tenga acceso a todos los sensores que el espectrofotómetro contiene. La prueba para ubicar al sensor en estas 3 posiciones se puede observar en la Figura 216.

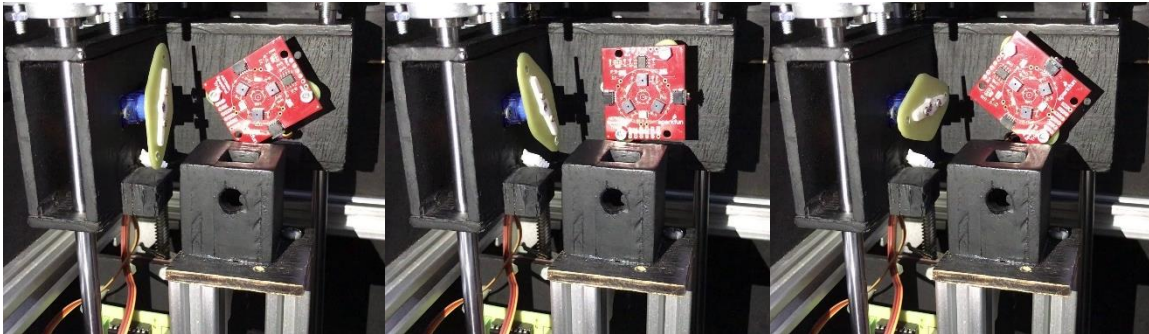


Figura 216. Prueba para posicionar a los sensores del espectrofotómetro.

Enseguida, se verificó que los sensores se ubicaran correctamente enfrente de las ventanas ópticas del soporte para la celda de cuarzo, al igual que estos tuvieran un movimiento libre y no presentaran choques con dicho soporte. La prueba realizada se observa en la Figura 217.

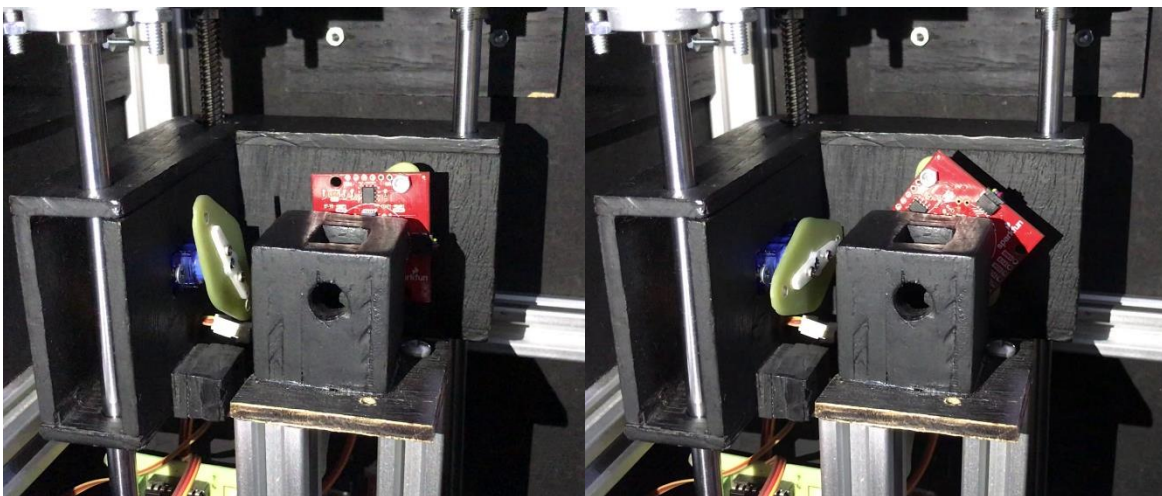


Figura 217. Prueba para posicionar a los sensores del mecanismo enfrente de la ventana óptica.

De estas pruebas se obtuvieron resultados positivos respecto al movimiento del mecanismo. Únicamente fue necesario ajustar ligeramente los ángulos programados de los servomotores para que los sensores alcanzaran la ventana óptica lo mejor posible.

4.4.10 Ensamble del revolver de fuentes de luz con el soporte de la celda de cuarzo y el troceador mecánico

Para poder realizar las primeras pruebas de nefelometría, es necesario realizar la unión de algunos ensambles previamente mencionados. Para ello primero se colocó el ensamble del soporte de la celda de cuarzo así como el ensamble correspondiente al revolver de fuentes de luz como se muestra en la Figura 218.

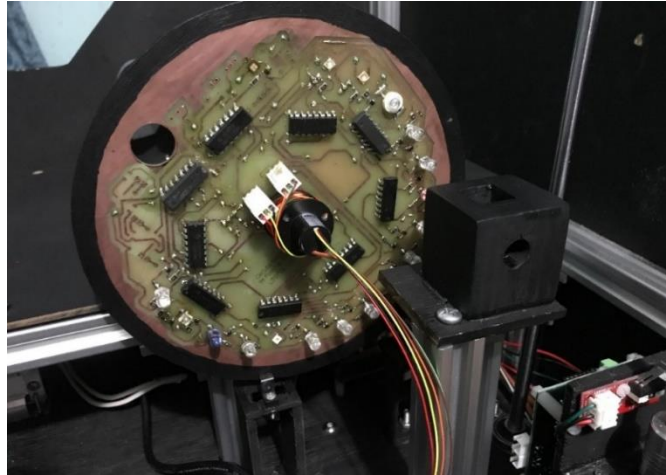


Figura 218. Ensamble del soporte de la celda de cuarzo y del revolver de fuentes de luz.

Al realizar este ensamble, se verificó que la distancia entre los diodos leds y la base del soporte para la celda de cuarzo era la adecuada, de tal manera que no existiera ninguna clase de impactos entre estos elementos. Sin embargo, fue necesario ajustar ligeramente la distancia del motor a pasos que sujeta al revolver de fuentes de luz para garantizar que cada led estuviera ubicado lo mejor posible en la ventana óptica. En la Figura 219, se aprecia a una de las fuentes de luz vista desde el otro lado del soporte de la celda, con lo cual se garantizó que cada fuente puede ubicarse correctamente en el centro de la ventana óptica.

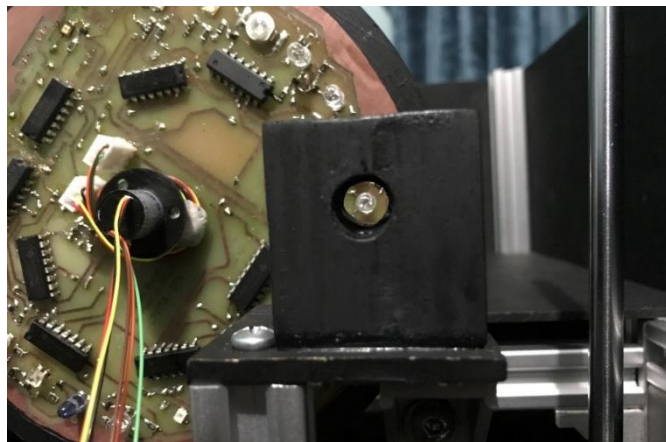


Figura 219. Posicionamiento de una de las fuentes de luz a través de la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo.

Una vez asegurado que cada fuente de luz se ubica correctamente en la venta óptica del soporte de la celda, se anexará a este ensamble el troceador mecánico. Al añadir este elemento, el proceso del ensamble deberá realizarse en el siguiente orden: primero el soporte de la celda de cuarzo, después el troceador mecánico y finalmente el revolver de leds. Hay que tomar en cuenta la distancia entre el revólver y el troceador, ya que si se acerca mucho puede haber impactos entre los dispositivos electrónicos del revólver y el disco troceador. En la Figura 220, se puede apreciar el ensamblaje de los soportes y elementos mecánicos. Y en la Figura 221, se puede ver una imagen de a vista superior del ensamble de estos tres componentes dentro del dispositivo.

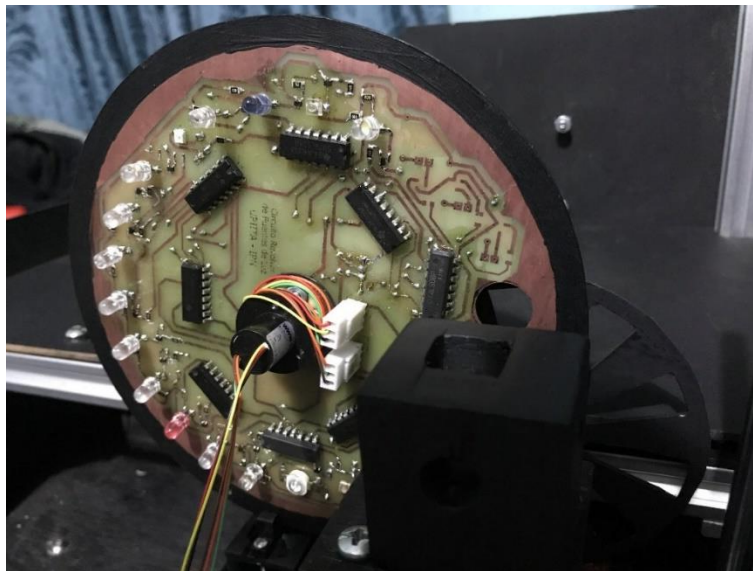


Figura 220. Ensamblaje del revolver, el soporte de la celda de cuarzo y el troceador mecánico.

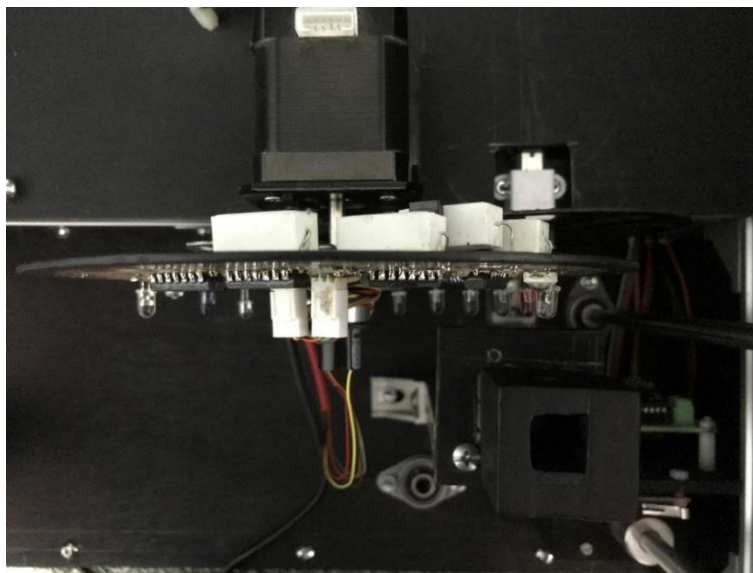


Figura 221. Vista superior del ensamblaje del revolver, el troceador mecánico y el soporte de la celda.

4.4.11 Pruebas del revolver de leds con el obturador eléctrico

Una vez que se ha realizado el ensamble del revolver de fuentes de luz con el soporte de la celda de cuarzo y el troceador mecánico, se repitieron las pruebas de funcionamiento realizadas en la sección 4.4.6, en donde se encendió individualmente y en orden de posición a cada uno de los leds con los que cuenta el revolver, solo que en esta ocasión se utilizó una señal de obturación que proviene del obturador eléctrico y se le hizo variar a diferentes frecuencias, lo cual se observa en las imágenes de la Figura 222.

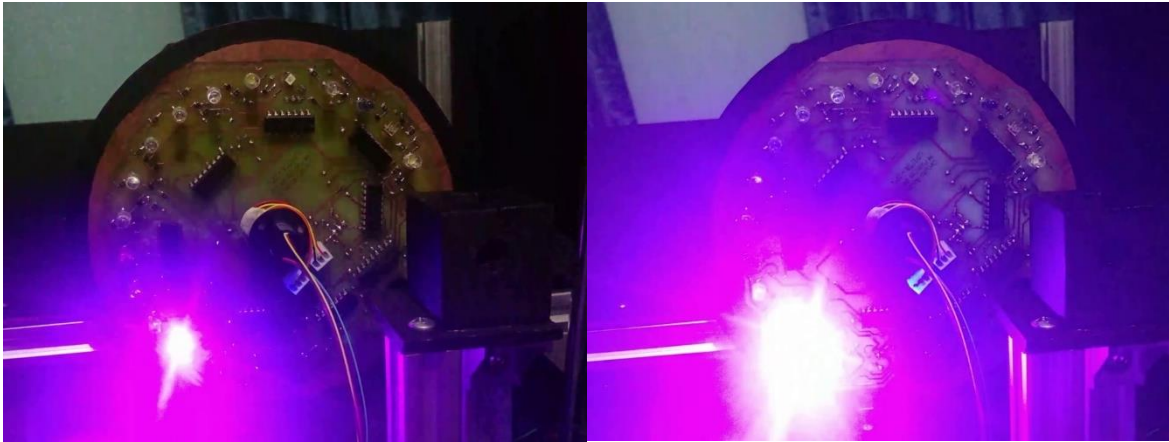


Figura 222. Prueba del revolver de leds con luz obturada.

Los resultados de la prueba anterior fueron muy satisfactorios, dado a que se pudo observar que el revolver trabaja perfectamente con luz obturada y en todas las frecuencias que fueron definidas para el obturador eléctrico. Se realizó una segunda prueba, pero ahora para verificar el funcionamiento de la programación para posicionar y encender correctamente cada una de las fuentes de luz enfrente de las ventanas ópticas del soporte para la celda de cuarzo, como se ve en la Figura 223.

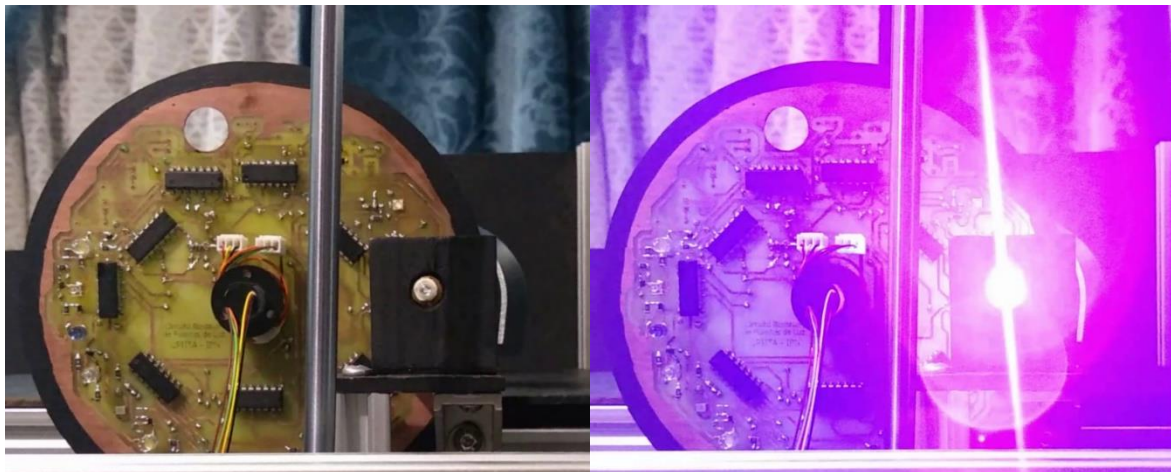


Figura 223. Prueba para posicionar las fuentes de luz en la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo.

La rutina que se realiza en esta segunda prueba es simple, primero el revolver gira hasta encontrar el punto de origen o cero pieza a través de un barreno que deja pasar la luz infrarroja del sensor de herradura ubicado en la parte inferior de la estructura. Posteriormente con la ayuda de una variable contador en la programación, cuenta el número de pasos del motor para ubicar al revolver en la fuente que se seleccione y con ayuda del corrimiento de bits se enciende el correspondiente. Con esta prueba se verificó que el revolver ya se puede posicionar correctamente, así como encender al led seleccionado en el momento en que ya se encuentre frente a la ventana óptica.

4.4.12 Ensamble de la lámpara UV en la estructura

El ensamble de la lámpara UV fue el último que se realizó y para ello se colocó de tal manera que se encontrara enfrente de la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo, esto con la ayuda de un socket atornillado a la pared de la estructura, el cual realiza una función de sujeción y guía para la lámpara. En la Figura 224, se aprecia el ajuste de la lámpara.

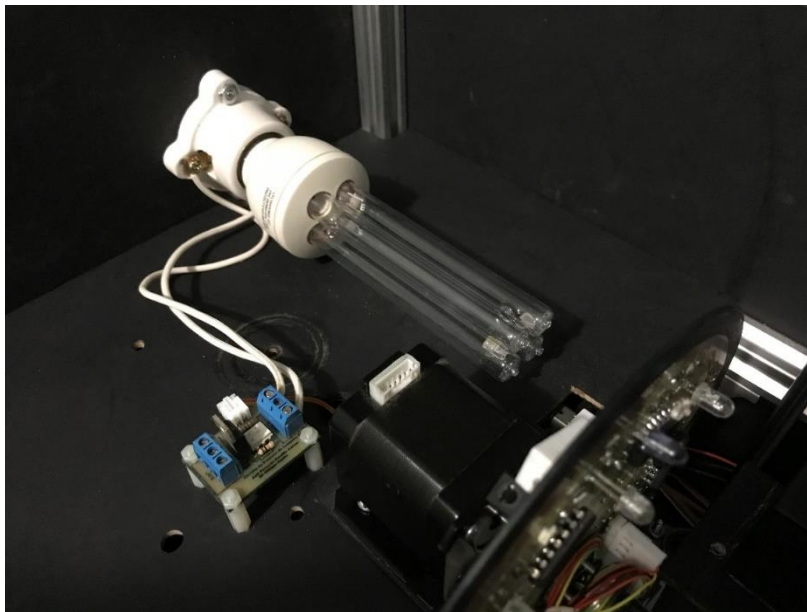


Figura 224. Ajuste de la lámpara UV en el dispositivo.

Para evitar la propagación de la luz UV en todas direcciones dentro del dispositivo y para procurar la salida de una porción de la luz de la lámpara UV, se adaptó una pieza que contiene a la lámpara UV dentro de un tubo de PVC de 2.5 pulgadas de diámetro, en donde para garantizar la sujeción de la pieza a la estructura del dispositivo se utilizó una abrazadera de metal de mismo diámetro que del tubo. En la Figura 225, se puede apreciar dos vistas del ensamble de la lámpara UV, con la pieza que la cubre y su sujeción a la estructura. Posteriormente para evitar incandescencias y fluorescencias dentro del dispositivos el tubo que cubre a la lámpara se pintó de negro mate con pintura en aerosol.

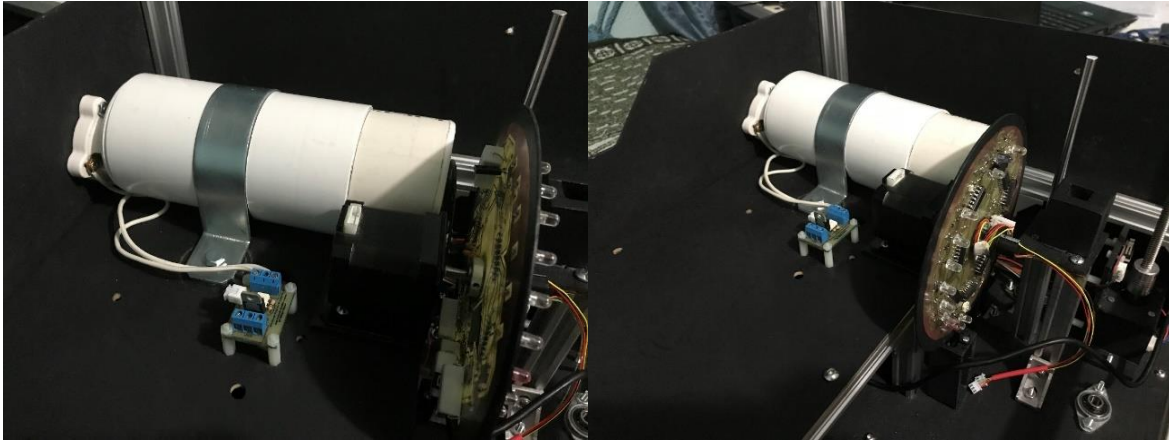


Figura 225. Diferentes vistas del ensamble de la lámpara UV.

4.4.13 Pruebas de la lámpara UV y del obturador mecánico

Una vez que se ensambló la lámpara UV, se realizaron algunas pruebas para comprobar los tiempos adecuados de encendido para esta y también para verificar que el haz de luz pasara adecuadamente a través de la ventana óptica del soporte de la celda de cuarzo. Esta última prueba se observa en la Figura 226.

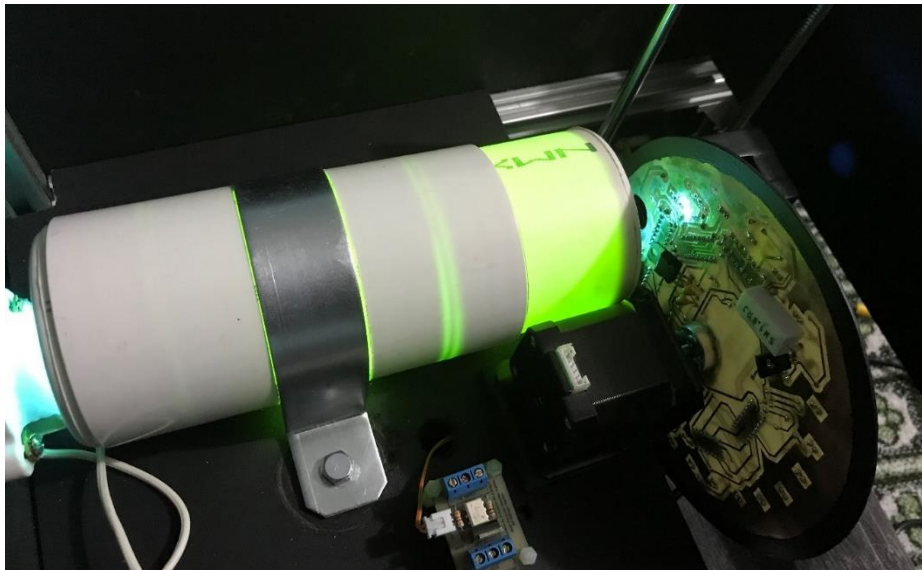


Figura 226. Pruebas del funcionamiento de la lámpara UV

De esta prueba se obtuvo que el tiempo para que la lámpara encienda es de por lo menos 3 segundos y a la vez requiere de otros 2 segundos para que la luz se estabilice.

Enseguida se realizó una segunda prueba, pero ahora para verificar el comportamiento del troceador mecánico. En esta se utilizaron bajas frecuencias (18Hz, 31Hz y 42Hz) y así observar a simple vista la manera en que la luz de la lámpara es obturada. Esta prueba se muestra en la Figura 227.

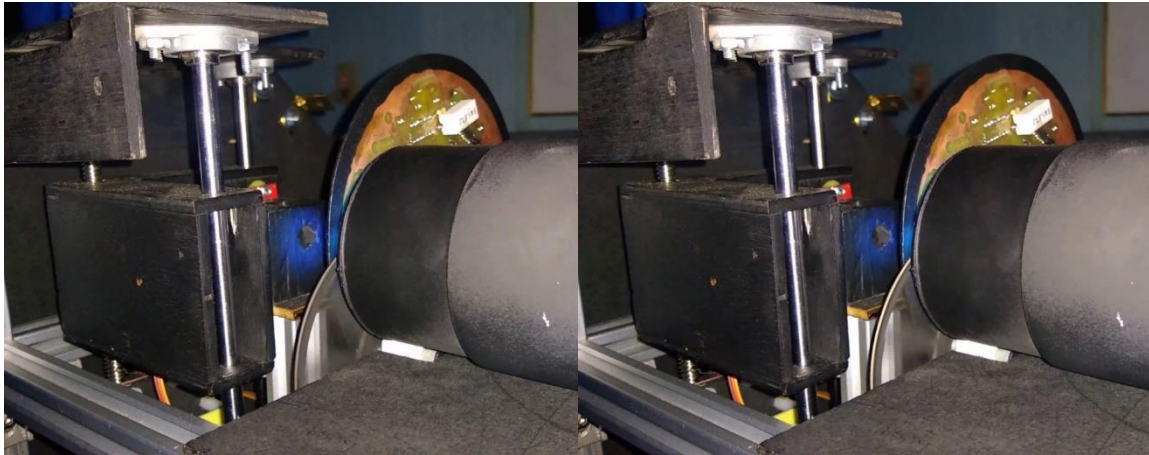


Figura 227. Obturación mecánica del haz de luz de la lámpara UV.

4.4.14 Prototipo Final

Una vez terminado el ensamble y las pruebas de los elementos principales de este sistema, se procedió a cerrar con su tapa a la estructura para finalizar con el ensamble del prototipo.

En la primera perspectiva de la Figura 228, podemos observar que ya se encuentran montados sobre la estructura algunas placas electrónicas como la placa principal, el obturador eléctrico, el detector activo en alto y switch, el controlador de los motores a pasos y la mitad del mecanismo de los sensores, así como el soporte de la probeta. En cuanto a la segunda imagen de la misma Figura 228, se aprecia la inclusión de la lámpara UV, se agregó el soporte del mecanismo de los sensores, se anexo y fijo a la estructura la placa que controla al troceador mecánico y los servomotores y también la placa encargada de la comunicación I2C con los sensores ópticos. Así como la incorporación del segundo nivel de la estructura donde esta fijo el motor a pasos del revolver de fuentes de luz y la placa electrónica de potencia para el encendido de la lámpara UV. También aquí ya se presenta la conexión de la fuente de alimentación a la placa principal.

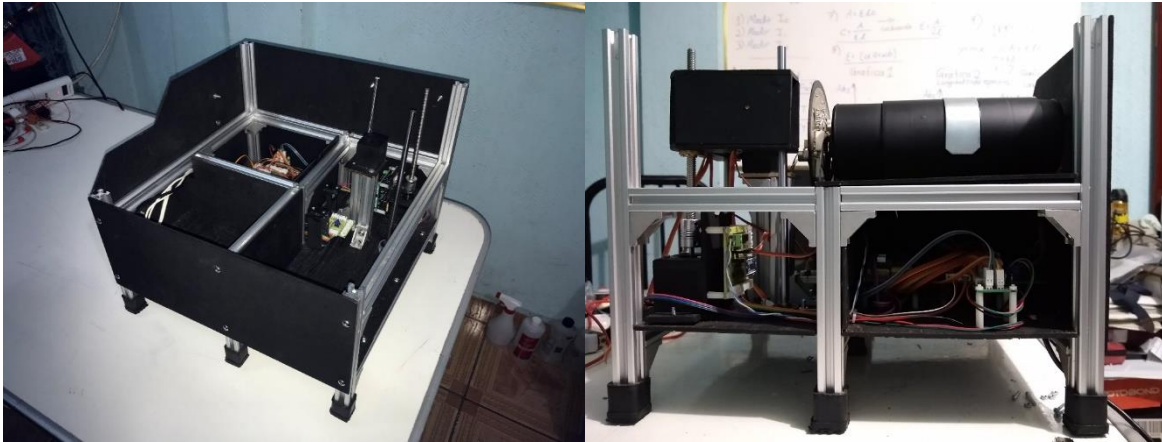


Figura 228. Ensamble del resto de los módulos y circuitos electrónicos

Finalmente, en la Figura 229, se muestra cómo quedó el prototipo final con su tapa principal, la cual se manufacturó de acuerdo a las medidas de los planos realizados para dicho elemento.



Figura 229. Ensamble final del prototipo.

4.4.15 Pruebas de la rutina de calibración del sistema e interfaz gráfica

Una vez que el prototipo quedó ensamblado se realizó una prueba del funcionamiento general de este con ayuda de la interfaz gráfica, esto a partir de las rutinas de calibración programadas para el sistema de nefelometría. La rutina de calibración base para iniciar a todo el sistema comienza con el posicionamiento del revolver de las fuentes de luz en la posición cero, enseguida se realiza la ubicación de la posición cero del mecanismo de los sensores ópticos y finalmente se realiza una pequeña prueba para corroborar el funcionamiento de los servomotores que soportan a los espectrofotómetros.

Una vez terminada la calibración, a través de la interfaz gráfica, se realizó un análisis espectral de las fuentes de luz con las que se cuenta, lo que esto quiere decir es que el revolver se ubicó y encendió a cada una de las fuentes de luz en orden de longitud de onda, al mismo tiempo que el mecanismo de los sensores se fue ubicando en la posición adecuada para realizar las lecturas correspondientes. En la Figura 230, Figura 231 y Figura 232, se muestran algunas fuentes de luz que fueron encendidas para realizar este análisis.

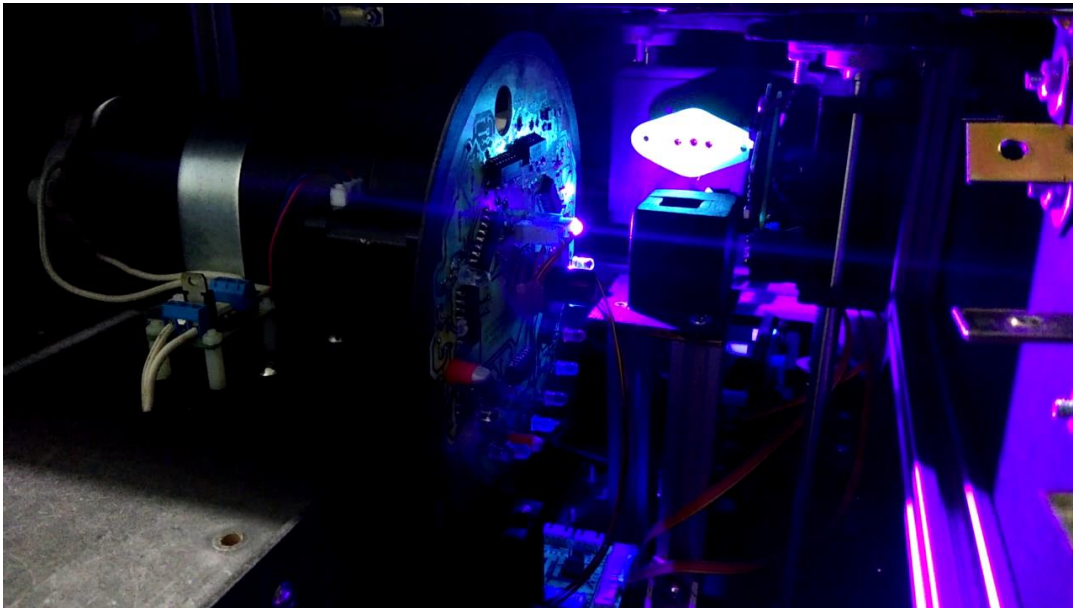


Figura 230. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz UV.

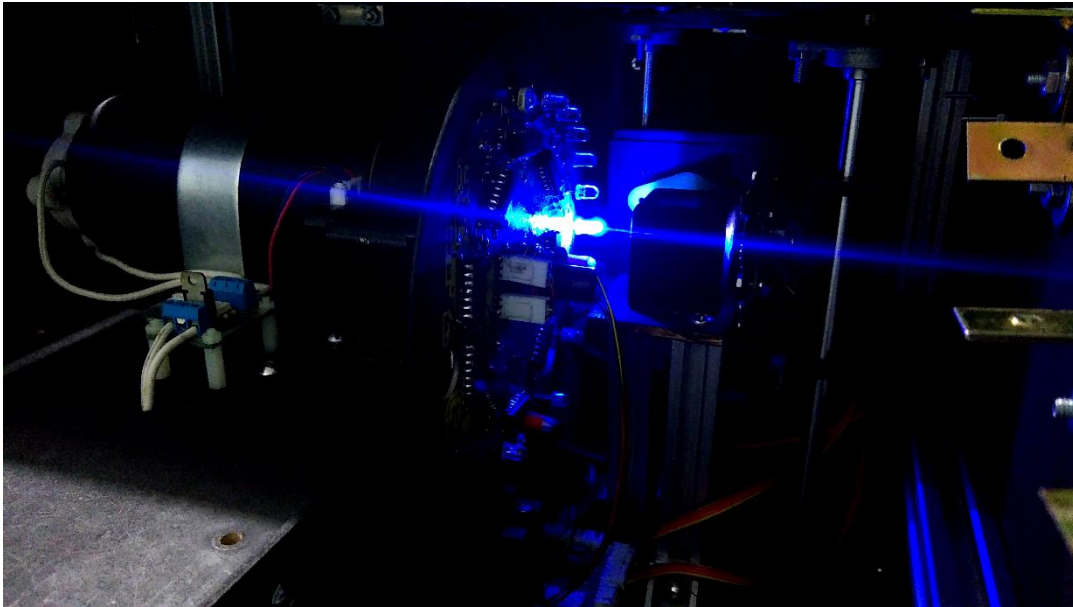


Figura 231. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz VIS.



Figura 232. Pruebas de la rutina de calibración del revolver al encender una fuente de luz IR.

El análisis realizado en esta prueba tiene mucha importancia, dado a que a partir de este es que se puede definir la longitud de onda en donde las muestras presentan una mayor cantidad de absorción. En la prueba se pudo observar un buen comportamiento de todo el sistema, por lo que se garantiza que este está listo para realizar un análisis con pruebas reales. Las únicas modificaciones que se realizaron fueron en la parte del código de programación reduciendo los tiempos de medición para que el análisis fuera lo más rápido posible.

Capítulo 5: Análisis de resultados

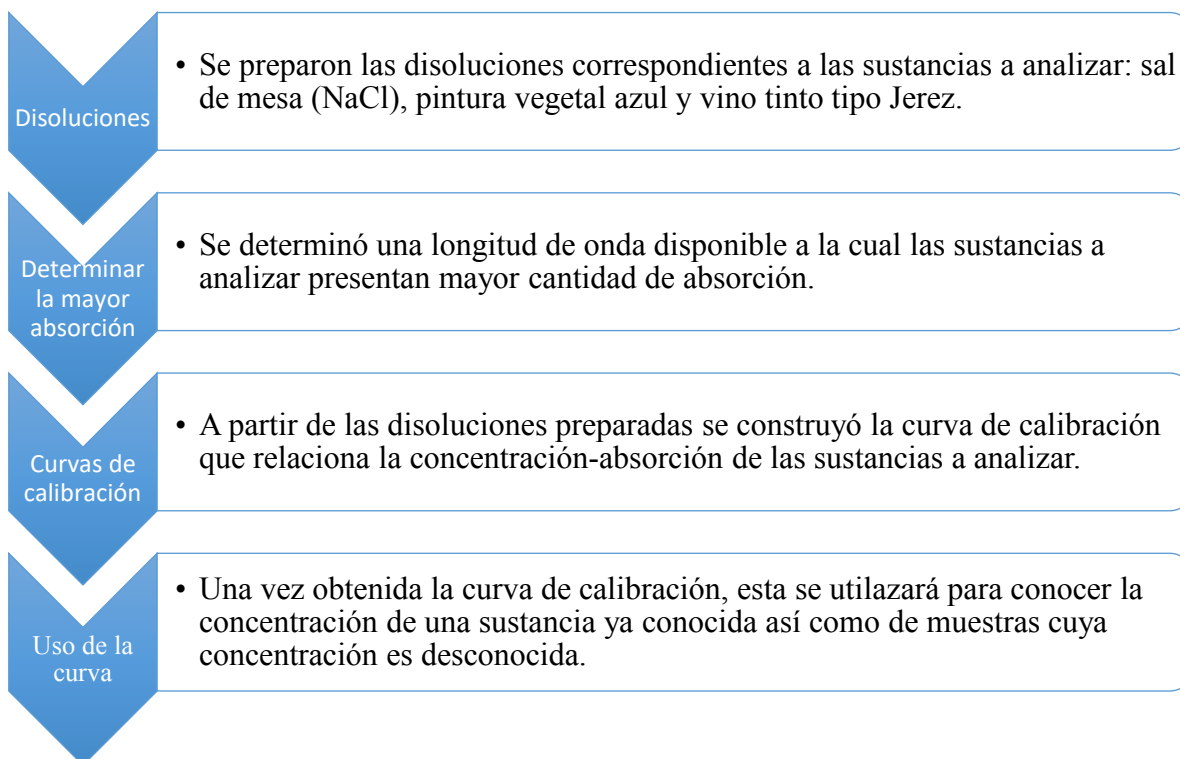
5 Análisis de resultados

A lo largo del siguiente capítulo, se muestra el proceso de calibración del prototipo, así como los resultados obtenidos de las pruebas realizadas del funcionamiento del sistema con la interfaz gráfica.

5.1 Calibración del sistema

La calibración del sistema se decidió realizarlo a través de la construcción de las curvas de calibración de las sustancias a analizar (sal de mesa, pintura vegetal azul y vino tinto tipo Jerez), dado a que este es un método muy utilizado en química analítica para determinar la concentración de una sustancia (analito) en una muestra desconocida.

Una curva de calibración se basa en la relación proporcional entre la concentración de la sustancia a analizar y la medición de una señal analítica (absorción). Conociendo esta relación, será posible conocer la concentración en una muestra dada mediante la medida de esta señal. Es importante destacar que las señales más utilizadas son aquellas cuya relación con la concentración es lineal, de esta manera se puede representar mediante la ecuación de una recta $y = mx + b$. A partir de esto, el procedimiento seguido para elaborar esta curva de calibración se muestra en el siguiente esquema.



A continuación, se muestra a detalle el proceso seguido en cada una de las etapas mostradas en el esquema anterior.

5.2.1 Preparación de las disoluciones patrón

Para la elaboración de una curva de calibración es esencial que se parta de varias disoluciones con una concentración conocida, por lo que es recomendable utilizar una cantidad de patrones suficiente para cubrir un rango que incluya la concentración esperada en las muestras desconocidas.

Es importante aclarar que las concentraciones utilizadas para los patrones deben de estar dentro de un rango válido dado a que los sensores que estamos utilizando no son tan precisos para discriminar entre concentraciones muy bajas o muy altas. Apoyándonos de la Figura 233, se puede observar que las concentraciones deben estar por encima del mínimo de concentración cuantificable por la técnica de turbidimetría y nefelometría (límite cuantificable), y a la vez también ha de estar por debajo del límite de linealidad que representa el punto máximo en donde la curva de calibración será fiable.

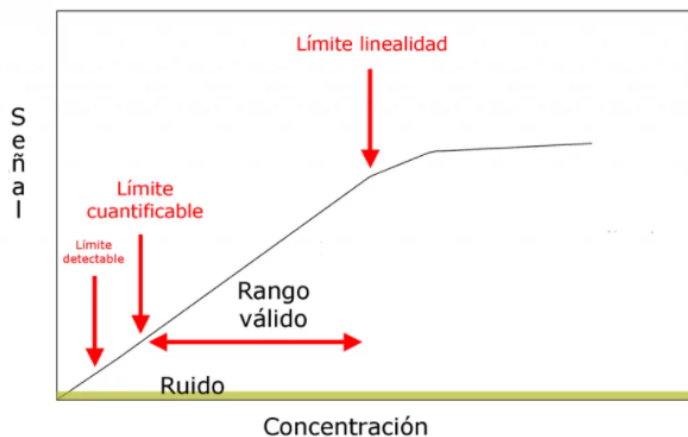


Figura 233. Curva de calibración. [134]

Existen muchas formas de expresar la concentración, sin embargo, para efectos prácticos la estaremos representando a partir de las siguientes relaciones:

$$\text{Concentración } (C) = \frac{\text{masa soluto } (mgr)}{\text{volumen de disolución } (ml)} \quad (48)$$

$$\% \text{volumen } (\%V/V) = \frac{\text{volumen del soluto } (ml)}{\text{volumen de disolución } (ml)} \cdot 100\% \quad (49)$$

Para realizar los análisis, se han considerado las siguientes sustancias:

- Sal de mesa (NaCl): enlace iónico cuya absorción se encuentra principalmente en el espectro infrarrojo. [135]
- Pintura vegetal azul: es un compuesto orgánico utilizado para pintar alimentos y cuya absorción se encuentra principalmente en el espectro visible.
- Vino tinto tipo Jerez: se consideró a este elemento debido a que es muy utilizado en técnicas de análisis instrumental en Enología para asegurar la calidad y pureza del vino mediante la determinación de su turbidez. [136]

Con lo anterior, para la preparación de las disoluciones se consideró principalmente el coeficiente de solubilidad de las sustancias a analizar (soluto) para evitar llevar sus concentraciones al punto de saturación, que en el caso de la sal de mesa (NaCl) es de 36g/100ml de agua considerando una temperatura de 20°C. En lo que corresponde a la pintura vegetal y al vino tinto tipo Jerez, su coeficiente de solubilidad no viene especificado, sin embargo, se procuró que las disoluciones de estas sustancias no se saturaran. En cuanto al solvente, se utilizó agua para plancha (agua desmineralizada) para procurar que el agua se encontrara lo más pura posible.

Disoluciones preparadas para el agua con sal

Para el caso de las disoluciones de agua con sal se realizaron una cantidad de 10 patrones conocidos para garantizar un buen comportamiento de la curva de calibración. Las mediciones de la cantidad agua se realizaron con un pequeño vaso graduado en mililitros y para la sal se utilizó una báscula cuya precisión está dada en gramos, como se puede observar en la Figura 234.



Figura 234. Preparación de las disoluciones de agua con sal.

De esta manera, se llenaron recipientes con 100ml de agua a 20°C en los cuales se agregaron diferentes cantidades del soluto, con un mínimo de 2gr y un máximo de 20gr para no llegar al punto de saturación de la sal. Así las disoluciones para esta sustancia quedaron como se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47. Disoluciones patrón realizadas para la sal de mesa (NaCl) a una temperatura de 20°C.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Cantidad de soluto (gr)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Cantidad de solvente (ml)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Concentración (mgr/ml)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

Disoluciones preparadas para el agua con pintura vegetal

Para la preparación de las disoluciones de agua con pintura vegetal se realizaron una cantidad de 13 patrones conocidos para garantizar un buen comportamiento de la curva de calibración. Sin embargo, en este caso para reducir al mínimo la cantidad de agua a utilizar, se implementaron disoluciones en serie para ir reduciendo a la mitad cada una de las concentraciones de los patrones, todo esto a partir de una solución madre cuya concentración es de 25mgr/ml. Las mediciones para la cantidad de agua y disolución se realizaron con ayuda de una jeringa de 5ml, en donde las disoluciones obtenidas se muestran en la Figura 235.

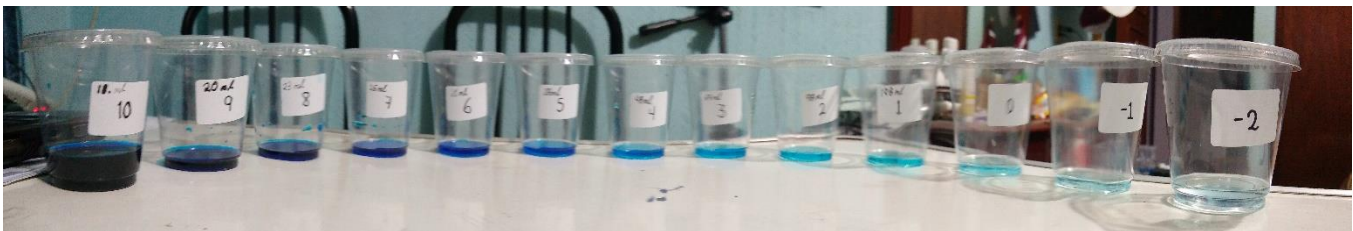


Figura 235. Preparación de las disoluciones de agua con pintura vegetal azul.

De esta manera, se llenaron recipientes con 10ml de agua a 20°C en los cuales se agregaron 10ml de las disoluciones en serie que se calcularon a partir de la relación:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (50)$$

En donde: C_1 : Concentración de la disolución 1
 V_1 : Volumen de la disolución 1
 C_2 : Concentración de la disolución 2
 V_2 : Volumen de la disolución 2

A partir de esto se llegó a una concentración mínima de 0.00390625mgr/ml y una máxima de 16mgr/ml. De esta manera, las disoluciones para esta sustancia quedaron como se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48. Disoluciones patrón realizadas para la pintura vegetal a una temperatura de 20°C.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Cantidad de soluto (gr)	0.078125	0.15625	0.3125	0.625	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160	800
Cantidad de solvente (ml)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50
Concentración (mgr/ml)	0.00390625	0.0078125	0.015625	0.03125	0.0625	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16

Disoluciones preparadas para el vino tinto tipo Jerez

La preparación de las disoluciones de vino tinto se realizó de manera similar a las de la pintura vegetal, utilizando disoluciones en serie para ir reduciendo a la mitad cada una de las concentraciones con ayuda de la Ecuación (50). En total se prepararon un total de 7 patrones como se observa en la Figura 236.

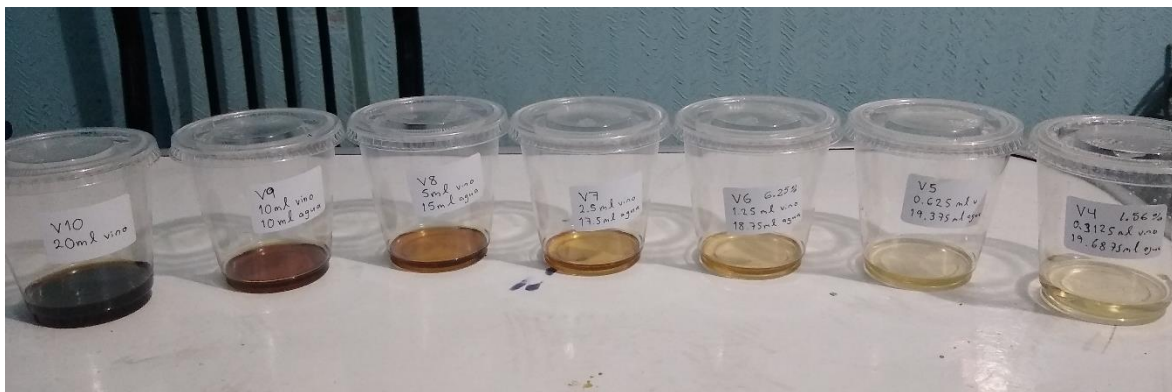


Figura 236. Preparación de las disoluciones de agua con vino tinto tipo Jerez.

De esta manera, se llenaron recipientes con 10ml de agua a 20°C en los cuales se agregaron 10ml de las disoluciones en serie que se calcularon. A partir de esto se llegó a una concentración mínima del 1.5625% y una máxima del 50%. De esta manera, las disoluciones para esta sustancia quedaron como se muestra en la Tabla 61.

Tabla 49. Disoluciones patrón realizadas para el vino tinto tipo Jerez a una temperatura de 20°C.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Cantidad de soluto (ml)	0	0.3125	0.625	1.25	2.5	5	10
Cantidad de solvente (ml)	20	20	20	20	20	20	20
Concentración (%V/V)	0	1.5625	3.125	6.25	12.5	25	50

Observaciones

Es importante destacar que para la preparación de las disoluciones se procuró no llevar las sustancias hasta el punto de saturación para evitar que las disoluciones superaran el límite de linealidad del sistema. Además, es importante comentar que las disoluciones deben prepararse en el momento exacto en el que se realizarán las lecturas correspondientes, dado a que, si se dejan reposar por días o incluso horas, estas pueden presentar cambios en su composición orgánica y las mediciones podrían variar.

5.2.2 Detección de la longitud de onda en donde se muestra mayor absorción

Una vez que se tienen las disoluciones y antes de realizar las mediciones para construir las curvas de calibración, es necesario encontrar la longitud de onda en donde las sustancias que analizaremos presentan una mayor cantidad de absorción. Para nuestro caso, el sistema que diseñamos cuenta con un total de 16 leds que corresponden a 16 longitudes de onda diferente, por lo cual se realizó un barrido de estas longitudes con las 3 sustancias a analizar y así definir la longitud de onda con la que se construirán las curvas de calibración.

Los resultados obtenidos de este barrido espectral para la muestra M10 que corresponde a la disolución de la sal de mesa con mayor concentración se muestra en la Figura 237. Para la disolución P10 que corresponde a la disolución de la pintura vegetal azul se muestra en la Figura 238. Finalmente, el espectro para la muestra V6 que corresponde a una concentración del 50% del vino tinto tipo Jerez, se muestra en la Figura 239.

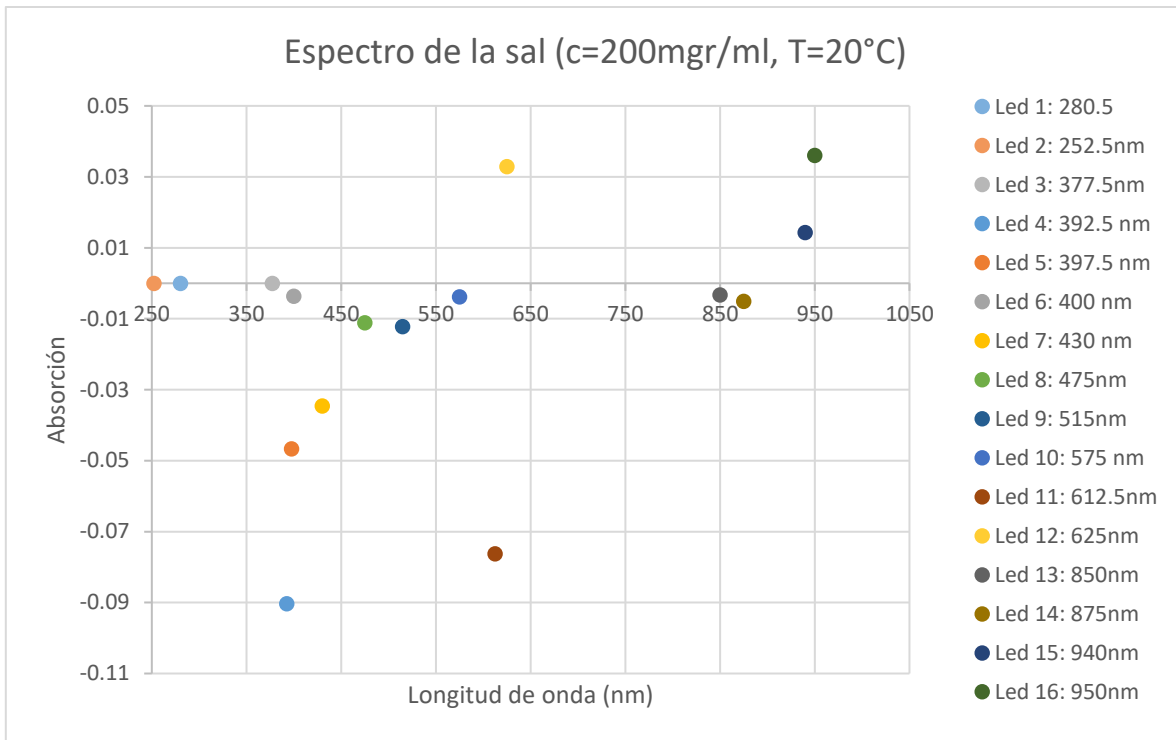


Figura 237. Espectro obtenido de la disolución del agua con sal.

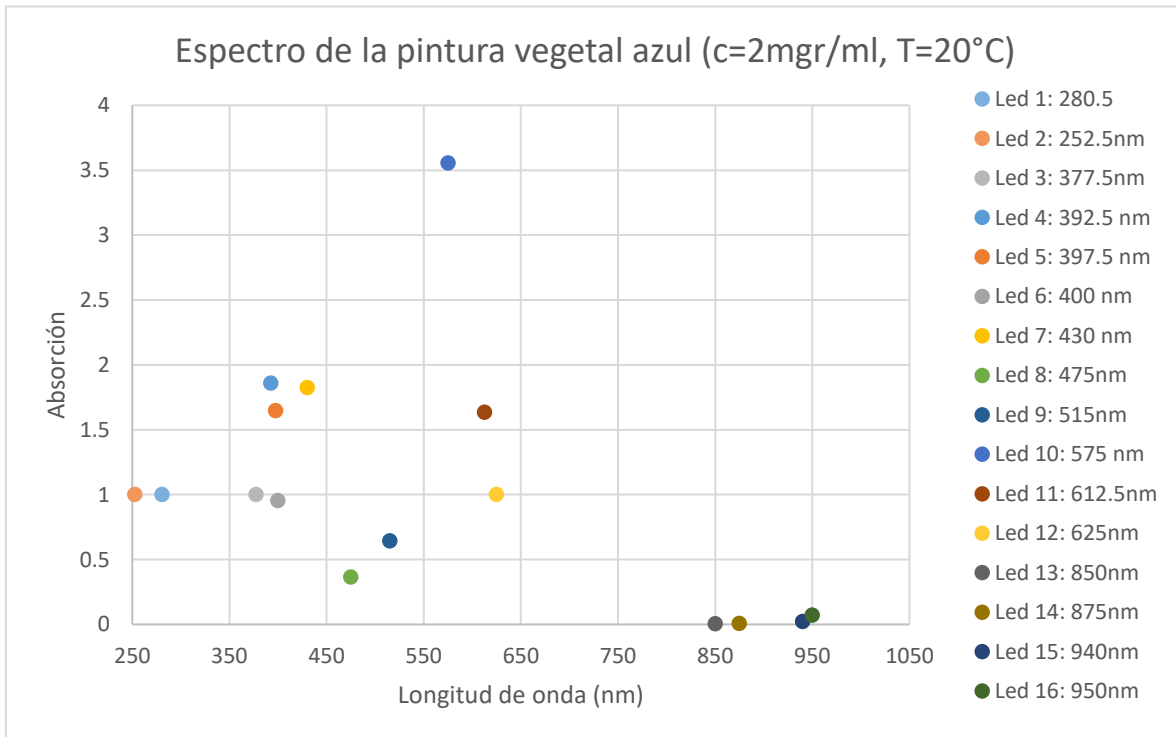


Figura 238. Espectro obtenido de la disolución del agua con la pintura vegetal azul.

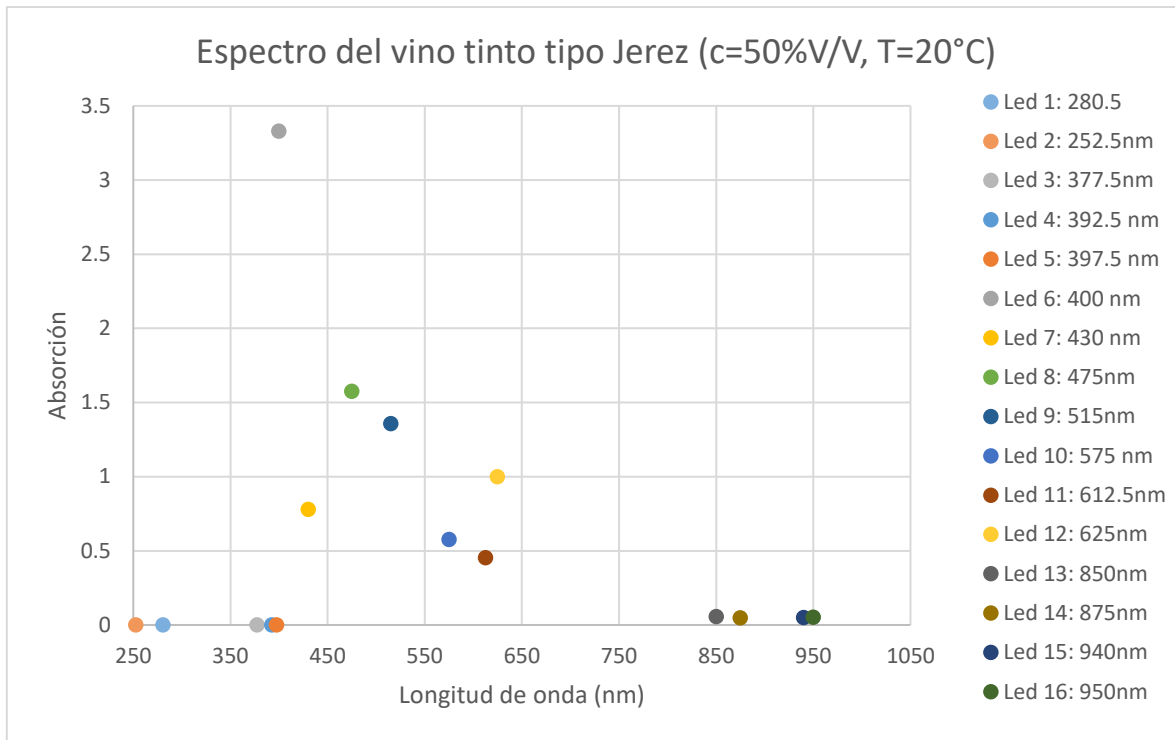


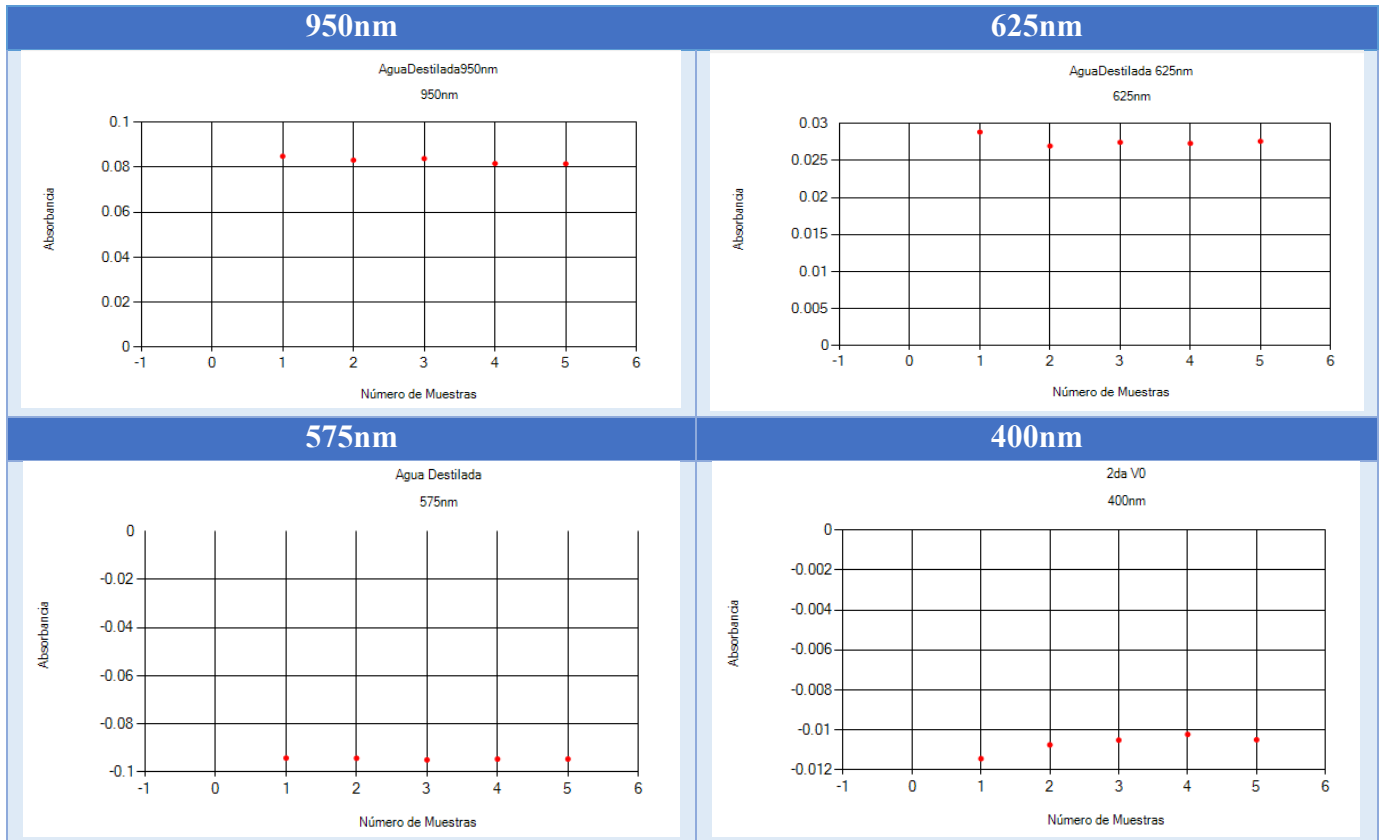
Figura 239. Espectro obtenido de la disolución del agua con el vino tinto tipo Jerez.

Por lo que se observa en las gráficas anteriores, las longitudes de onda en donde las sustancias presentan mayor absorción son las siguientes:

- Sal de mesa: 950nm y 625nm (espectro infrarrojo y visible)
- Pintura vegetal azul: 575nm (espectro visible)
- Vino tinto tipo Jerez: 400nm (espectro ultravioleta cercano)

En la Tabla 50, se muestran las mediciones realizadas de estas longitudes de onda utilizando la muestra referencia (agua destilada), esto para verificar que dichas longitudes trabajen adecuadamente y no presentan muchas variaciones en las mediciones.

Tabla 50. Mediciones prueba con agua destilada de las longitudes de onda a trabajar.



Observaciones

Debido a que la resolución de la máquina es baja, esta no puede leer adecuadamente la concentración de sustancias poco turbias, lo cual provoca que en algunas longitudes de onda que no son apropiadas a la absorción de la sustancia muestra valores negativos, pero no significa que sea algo incorrecto dado a que nuestra propia muestra de referencia (agua destilada) proporciona valores negativos al momento de realizar mediciones en algunas longitudes de onda.

5.2.3 Curvas de calibración

Las curvas de calibración se construyeron midiendo la señal analítica en cada una de las disoluciones patrones previamente elaboradas a la longitud de onda en donde se presenta la mayor absorción y que se definió en la sección anterior.

Para el eje de ordenadas se asignó el valor de la señal medida y en el eje de abscisas la concentración de la disolución. De esta forma podemos señalar puntos en la gráfica según las coordenadas (concentración (x), absorción (y)). A estos puntos podemos aplicar una linealización a partir de un ajuste por mínimos cuadrados, para así obtener la recta que los relaciona y su respectiva función.

Curva de calibración para el agua con sal

Para la construcción de esta curva se realizaron 2 pruebas compuestas por 25 mediciones para cada una de las disoluciones, es decir, se realizaron un total de 500 mediciones por el total de las disoluciones. Dadas estas especificaciones, la curva de calibración obtenida para el agua con sal a 625nm se muestra en Figura 240.

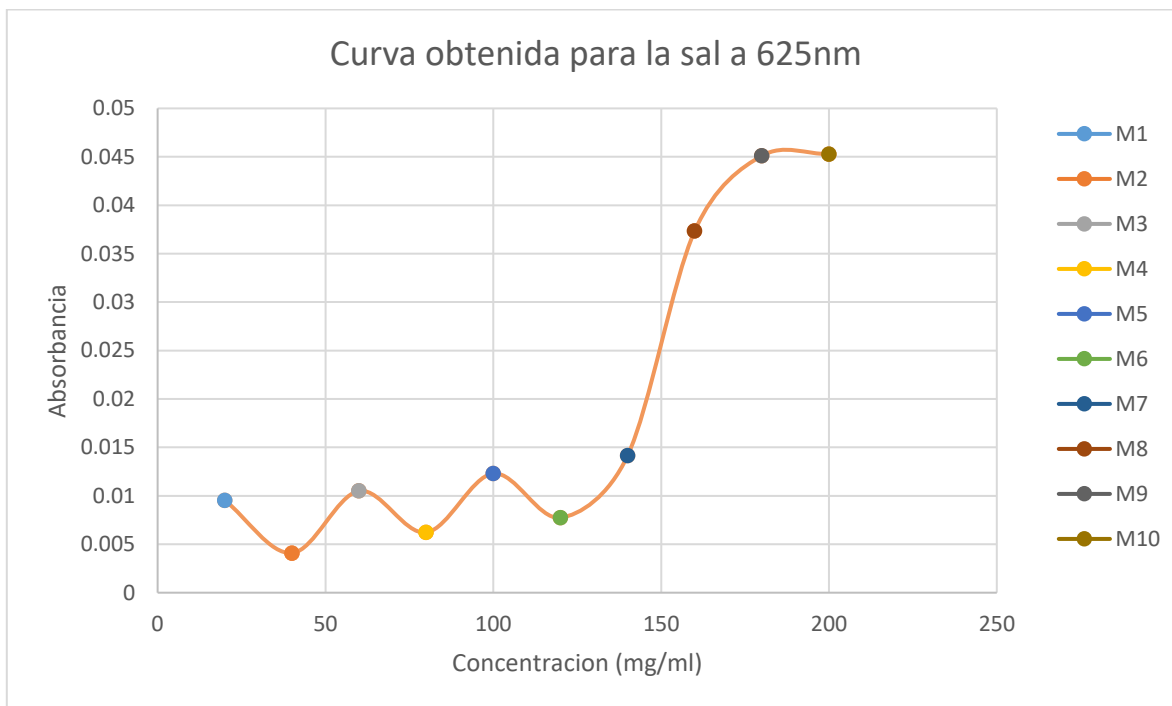


Figura 240. Curva obtenida para el agua con sal a 625nm.

Como se puede observar en la gráfica, los resultados no fueron los esperados dado a que las mediciones realizadas variaron considerablemente debido a la baja resolución que se tiene en el sistema para medir sustancias poco turbias. El experimento se repitió ahora utilizando una longitud de onda de 950nm, sin embargo, los resultados obtenidos presentaron muchas variaciones en las mediciones, por lo cual se descartó completamente dicha curva de calibración.

Curva de calibración para el agua con pintura vegetal azul

Al igual que para el agua con sal, en la construcción de esta curva se realizaron 2 pruebas compuestas por 25 mediciones cada una de las disoluciones, por lo que se realizaron en total 650 mediciones. Así la curva de calibración para el agua con pintura vegetal azul se muestra en la Figura 241.

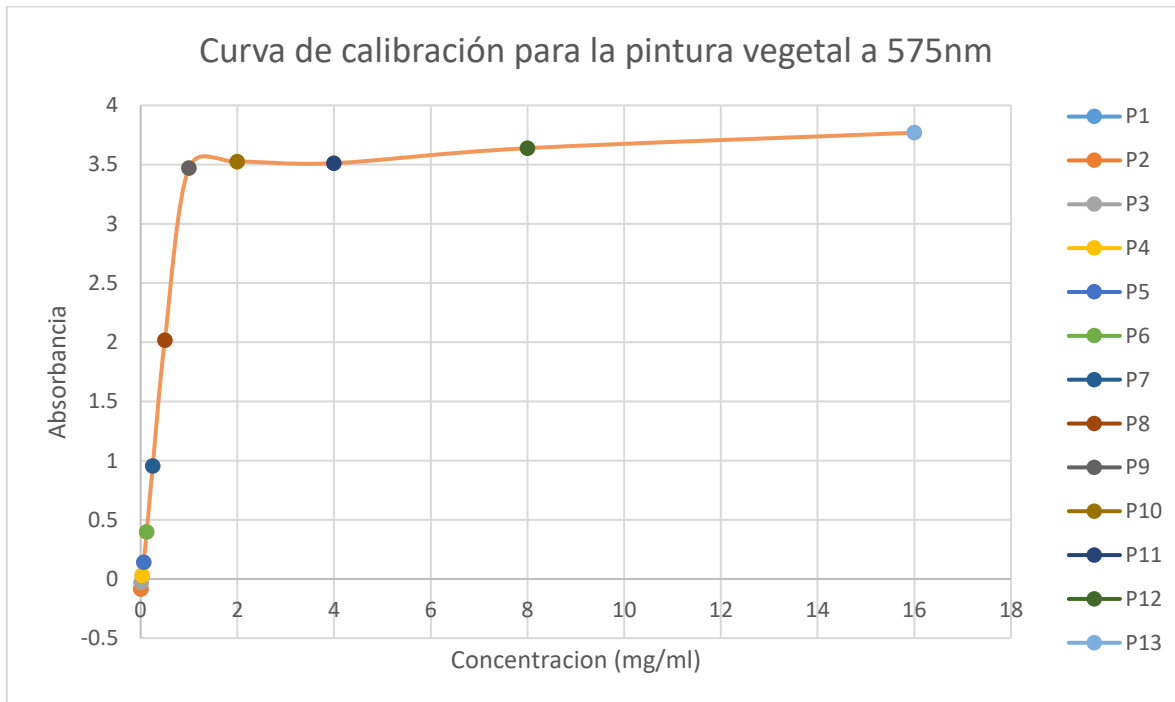


Figura 241. Curva de calibración para la pintura vegetal azul.

Sin embargo, se puede observar de esta curva que el sistema no pudo realizar adecuadamente las lecturas en concentraciones que superan 1mg/ml, por lo cual este valor corresponde a su límite de linealidad. En cuanto al límite detectable del sistema, se encontró que se pueden realizar mediciones adecuadamente siempre y cuando sean superiores a 0.03125 mg/ml. De esta manera, se ajustaron estos valores para que la linealización de la curva sea la adecuada, por lo cual la curva de calibración a considerar es la que se muestra en la Figura 242.

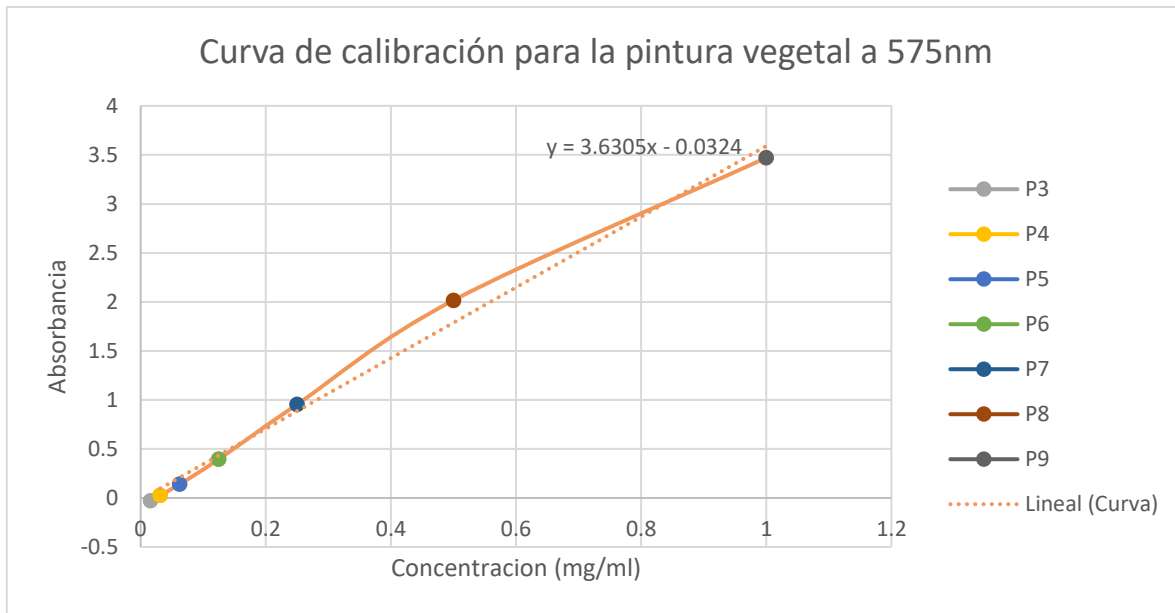


Figura 242. Curva de calibración considerada para la pintura vegetal azul y su linealización.

Una vez obtenida la curva de calibración para la pintura vegetal azul se obtuvo su respectiva linealización, así como la ecuación que rige su comportamiento la cual es la siguiente:

$$y = 3.6305x - 0.0324$$

En donde: *y*: absorbancia de la disolución

x: concentración de la disolución (mg/ml)

Realizando una analogía con la Ley de Lambert y Beer ($A = \varepsilon \cdot c \cdot l$) y considerando que la linealización sea ideal (que iniciara en el origen), se puede determinar que el coeficiente de extinción molar para la pintura vegetal es $\varepsilon = 3.6305$ utilizando una celda de cuarzo, el cual es un parámetro necesario para determinar una concentración aproximada aplicando esta ley.

Curva de calibración para el agua con vino tinto tipo Jerez

Para la construcción de esta curva se realizaron 2 pruebas compuestas por 25 mediciones por cada una de las disoluciones, por lo que se realizaron en total 300 mediciones. Así la curva de calibración para el agua con vino tinto se muestra en la Figura 243.

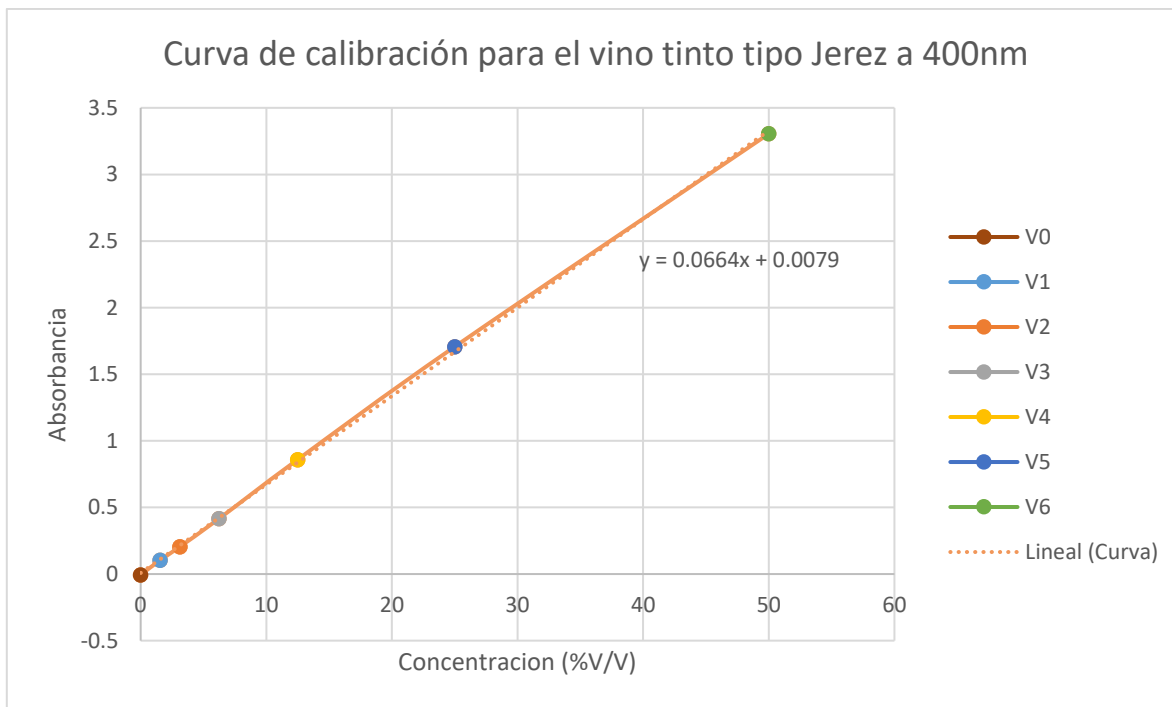


Figura 243. Curva de calibración para el vino tinto tipo Jerez y su linealización.

Se puede observar que las muestras utilizadas trabajan adecuadamente en límite de linealidad y el límite detectable del sistema. Por lo cual, a partir de los valores obtenidos se obtuvo su respectiva linealización, donde la ecuación que rige su comportamiento es la siguiente:

$$y = 0.0664x + 0.0079$$

En donde: *y*: absorción de la disolución

x: concentración de la disolución (%V/V)

Realizando una analogía con la Ley de Lambert y Beer ($A = \epsilon \cdot c \cdot l$) y considerando que la linealización sea ideal (que iniciara en el origen), se puede determinar que el coeficiente de extinción molar para el vino tinto tipo Jerez es de $\epsilon = 0.0664$ utilizando una celda de cuarzo, el cual es un parámetro necesario para determinar una concentración aproximada aplicando esta ley.

Observaciones

A pesar de que la calibración se realizó en casa y no en un laboratorio como es lo recomendable, se procuró limpiar las celdas de cuarzo inmediatamente después de usarlas para que estas no se contaminaran con las sustancias utilizadas, para ello se recomienda los siguientes puntos:

- Vaciar el contenido de las celdas en el contenedor designado para desechos, el cual debe estar identificado siguiendo las buenas prácticas de laboratorio.
- Enjuagar tres veces con el solvente utilizado durante la prueba (agua destilada).
- Dejar secar al aire.
- Limpiar la parte externa de la celda con papel para limpiar oculares.
- Guardar en el estuche de celdas.

De igual manera, antes de realizar alguna prueba en el sistema de nefelometría, es importante considerar lo siguiente para que los resultados sean los ideales:

- Enjuagar con el solvente usado en la prueba tres veces (agua destilada).
- Llenar la celda con la solución a evaluar (agua con sal, agua con pintura vegetal o agua con vino tinto tipo Jerez).
- Limpiar el exterior de la celda con papel para limpiar oculares.
- Colocar la celda con la solución dentro del soporte del sistema designado para la nefelometría.

5.2 Pruebas finales y resultados

Una vez construidas las curvas de calibración de las sustancias a analizar, ya es posible estimar una concentración aproximada de una disolución que se encuentre en el rango de operación del sistema, lo cual es posible realizarlo de dos maneras:

- A través de la ecuación explícita de la recta obtenida a partir de la linealización de las curvas de calibración: $y = mx + b$
- Mediante la Ley de Lambert y Beer utilizando los coeficientes de extinción molar determinados por las curvas de calibración: $A = \varepsilon \cdot c \cdot l$

Se determinó que el sistema trabajará a partir de la ecuación explícita de la recta la cual fue previamente programada en la interfaz gráfica. En el caso de la Ley de Lambert y Beer se utilizará para compararlos respecto a los resultados obtenidos.

De esta manera, para corroborar el funcionamiento del prototipo final, primeramente, se realizaron algunas pruebas en conjunto con la interfaz gráfica, utilizando disoluciones ya conocidas de la pintura vegetal y el vino tinto tipo Jerez, las cuales fueron utilizadas para la construcción de las curvas de calibración, descartando lo que es las disoluciones del cloruro de sodio debido a que no fue posible construir una curva de calibración confiable. El área de trabajo en donde se realizaron las pruebas se muestra en la Figura 244.

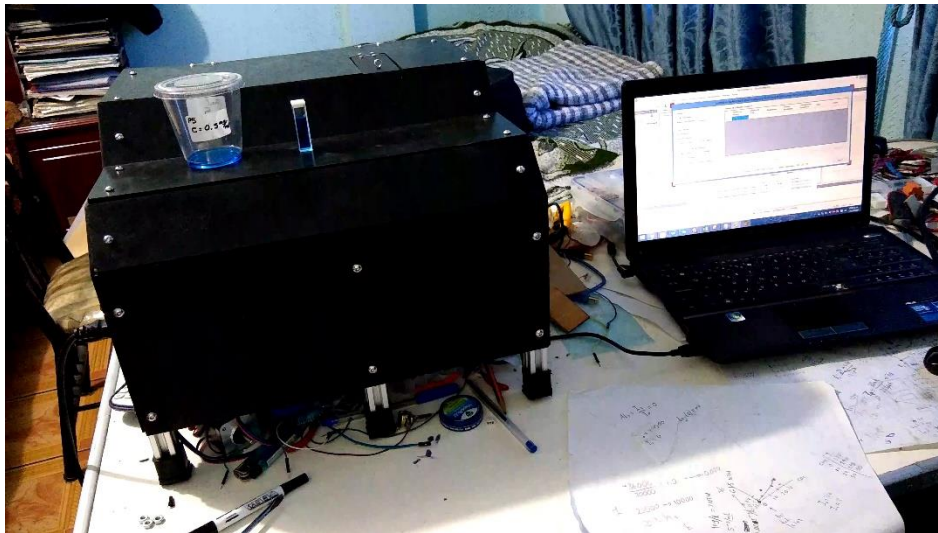


Figura 244. Área de trabajo para realizar las pruebas de funcionamiento.

Pruebas realizadas con la pintura vegetal azul

Las primeras pruebas realizadas corresponden a las disoluciones que en la Tabla 48 están designadas como P6 y P8, cuyas concentraciones son de 0.125mg/ml y 0.5mg/ml. Ajustando los parámetros para el análisis en la interfaz gráfica, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 245 y en la Figura 246.

Número de Muestra	Longitud de Onda	Absorbancia	Turbidez Aproximada	Concentración Aproximada	Hora	Fecha
1	575	0.379732737921...	0	0.113519553207...	03:12:41 p. m.	18/12/2020
2	575	0.379335141554...	0	0.113410037613...	03:12:53 p. m.	18/12/2020
3	575	0.378941864864...	0	0.113301711848...	03:13:04 p. m.	18/12/2020
4	575	0.378941864864...	0	0.113301711848...	03:13:15 p. m.	18/12/2020
5	575	0.379335141554...	0	0.113410037613...	03:13:26 p. m.	18/12/2020

Figura 245. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra P6.

Número de Muestra	Longitud de Onda	Absorbancia	Turbidez Aproximada	Concentración Aproximada	Hora	Fecha
1	575	1.916157139073...	0	0.536718672103...	03:09:08 p. m.	18/12/2020
2	575	1.915754686244...	0	0.536607818825...	03:09:20 p. m.	18/12/2020
3	575	1.915347062324...	0	0.536495541199...	03:09:31 p. m.	18/12/2020
4	575	1.915347062324...	0	0.536495541199...	03:09:42 p. m.	18/12/2020
5	575	1.915347062324...	0	0.536495541199...	03:09:53 p. m.	18/12/2020

Figura 246. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra P8.

Una vez terminado el análisis, se calcularon los valores teóricos que se obtienen con la Ley de Lambert y Beer a partir de la absorbancia obtenida en las muestras. De igual manera se verificó que los resultados mostrados sean lo más fiables posibles, lo cual se determinó a partir del error absoluto y el error relativo que presenta el sistema:

$$error\ absoluto = |Concentración_{real} - Concentración_{experimental}| \quad (51)$$

$$\%error\ relativo = \frac{|Concentración_{real} - Concentración_{experimental}|}{Concentración_{real}} \times 100\% \quad (52)$$

Los resultados para esta primera etapa de pruebas se muestran en la Tabla 51. En donde se observan las concentraciones teóricas que se obtienen con la Ley de Lambert y Beer a partir del coeficiente de extinción de las curvas de calibración, un promedio de las concentraciones experimentales obtenidas de las muestras, y finalmente el error absoluto y relativo que presenta el sistema.

Tabla 51. Resultados finales obtenidos para las pruebas realizadas con la pintura vegetal.

Nombre de la muestra	Concentración Lambert y Beer [mg/ml]	Concentración experimental [mg/ml]	Error absoluto	Error relativo [%]
Pintura vegetal P6 (0.125mg/ml)	0.10446422	0.11338861	0.01161139	9.28911166
Pintura vegetal P8 (0.5mg/ml)	0.527638232	0.536562623	0.03656262	7.31252458

En la tabla anterior, se observa que los resultados obtenidos con el sistema son bastante fiables pues se observa que este presenta un error relativo entre 7% y 10% para los análisis en la Pintura vegetal, lo cual únicamente llega a afectar en centésimas respecto a las concentraciones reales de las muestras.

Pruebas realizadas con el vino tinto tipo Jerez

Al igual que la pintura vegetal, se realizó una segunda etapa de pruebas, pero ahora con el vino tinto tipo Jerez. Para ello se utilizaron las disoluciones que en la Tabla 49 están etiquetadas como V1 y V3, cuyas concentraciones son de 1.5625%V/V y 6.25%V/V. Ajustando los parámetros para el análisis en la interfaz gráfica, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 249 y en la Figura 250.

Número de Muestra	Longitud de Onda	Absorbancia	Turbidez Aproximada	Concentración Aproximada	Hora	Fecha
1	400	0.097816372813...	0	1.354162241163...	12:56:24 a. m.	22/12/2020
2	400	0.098427768859...	0	1.363370012943...	12:56:35 a. m.	22/12/2020
3	400	0.098182245039...	0	1.359672365058...	12:56:47 a. m.	22/12/2020
4	400	0.097668309160...	0	1.351932366868...	12:56:58 a. m.	22/12/2020

Figura 247. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra V1.

Número de Muestra	Longitud de Onda	Absorbancia	Turbidez Aproximada	Concentración Aproximada	Hora	Fecha
1	400	0.427827855679...	0	6.324214693972...	12:51:28 a. m.	22/12/2020
2	400	0.428446092165...	0	6.333525484421...	12:51:39 a. m.	22/12/2020
3	400	0.429100141827...	0	6.343375629937...	12:51:51 a. m.	22/12/2020
4	400	0.428904880161...	0	6.3404349421934	12:52:02 a. m.	22/12/2020
5	400	0.428412770905...	0	6.333023658221...	12:52:13 a. m.	22/12/2020

Figura 248. Resultados obtenidos con la interfaz gráfica del sistema para la muestra V3.

Los resultados para esta segunda etapa de pruebas se muestran en la Tabla 52. En donde se observan las concentraciones teóricas que se obtienen con la Ley de Lambert y Beer a partir del coeficiente de extinción para el vino, un promedio de las concentraciones experimentales obtenidas de las muestras, y finalmente el error absoluto y relativo que presenta el sistema.

Tabla 52. Resultados finales obtenidos para las pruebas realizadas con el vino tinto tipo Jerez.

Nombre de la muestra	Concentración Lambert y Beer [%V/V]	Concentración experimental [%V/V]	Error absoluto	Error relativo [%]
Vino tinto V1 (1.5625%V/V)	1.47626015	1.357284247	0.205215753	13.13380822
Vino tinto V3 (6.25%V/V)	6.453890785	6.334914882	0.084914882	1.358638108

En la tabla anterior, se observa que los resultados obtenidos con el sistema son fiables pues se observa que este presenta un error relativo entre 1.35% y 13% para los análisis en el vino tinto, sin embargo, es importante observar que entre más pequeña sea la concentración para esta sustancia el margen de error será mayor comparado a cuando la concentración es superior al 5%V/V. En ambos casos los resultados únicamente se ven afectados en centésimas respecto a las concentraciones reales de las muestras.

Resolución del sistema (Sensibilidad)

En este sistema, existen dos factores que limitan su sensibilidad: la pendiente de la curva de calibración que corresponde al coeficiente de extinción de las sustancias (pintura vegetal azul y vino tinto tipo Jerez) y la precisión del sistema de medición. Dado a que todas las mediciones fueron realizadas con el mismo prototipo, la resolución estará determinado únicamente por la pendiente de las curvas de calibración, en donde será más sensible si la sustancia presenta una mayor pendiente.

A partir de los resultados obtenidos, puede establecerse que este sistema presenta una mayor sensibilidad para la pintura vegetal azul ($m=3.6305$) comparado con el vino tinto ($m=0.0664$). Esto quiere decir que, si realizamos algunas mediciones de concentraciones bajas y concentraciones altas de disoluciones de pintura vegetal, el error del sistema no mostrará grandes variaciones lo cual se comprueba con los resultados de la Tabla 51. En cambio, si se realiza el mismo experimento. pero ahora con disoluciones de vino tinto tipo Jerez, la variación del error es bastante alto como se aprecia en la Tabla 52.

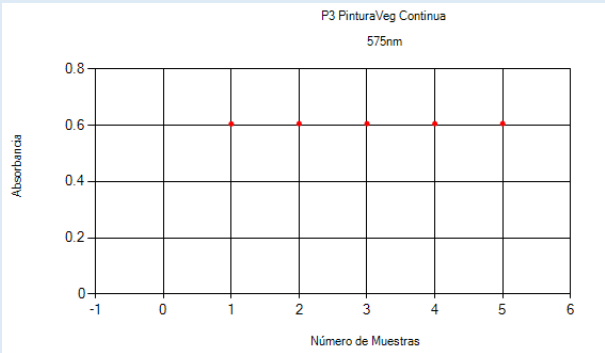
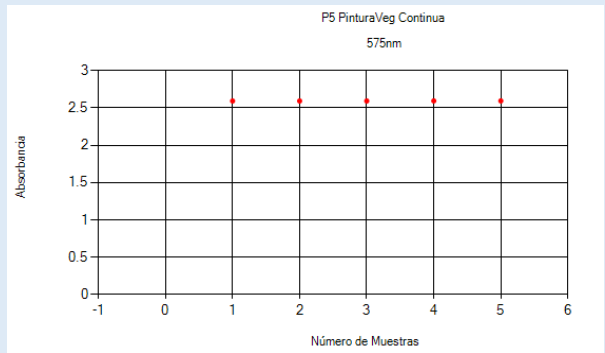
Pruebas para verificar el cambio de concentración por procesos biológicos y orgánicos

Las muestras realizadas para la pintura vegetal azul y el vino tinto tipo Jerez se almacenaron en vasos de plástico cristal y fueron selladas para que no tuvieran contacto con el ambiente. De esta forma, se dejaron reposar durante 10 días a temperatura ambiente. Al onceavo día se procedió a medir las concentraciones de algunas de las muestras para comprobar si estas presentaron cambios en su concentración debido al tiempo de reposo. En general, se observaron cambios en las concentraciones de ambas sustancias debido a que la pintura vegetal y el vino tinto tipo Jerez tienen elementos orgánicos en su composición y con el tiempo pueden mostrar cambios.

Para el caso de la pintura vegetal diluida en agua desmineralizada, se tomaron dos disoluciones que se habían creado originalmente para las curvas de calibración: una muestra con una concentración de 0.5 mg/ml y otra con una concentración de 0.125 mg/ml. Realizando la lectura de la concentración con la longitud de onda a la que se calibró la sustancia, el dispositivo arrojó diferentes resultados.

En la Tabla 53, se muestran las gráficas de absorción de las muestras y enseguida la nueva concentración obtenida. En la tabla se aprecia que la concentración aumentó que posiblemente se debió a causa de un proceso de descomposición de los microorganismos diluidos en el agua lo cual volvió más turbia a la muestra.

Tabla 53. Concentraciones obtenidas de la pintura vegetal diluida en agua después de 10 días

Muestra de 0.125 mg/ml	Muestra de 0.5 mg/ml
<p data-bbox="228 1247 716 1278">Gráfica de Absorbancia de la Muestra</p> 	<p data-bbox="911 1247 1398 1278">Gráfica de Absorbancia de la Muestra</p> 
<p data-bbox="172 1646 773 1719">Concentración aproximada después de 10 días: 0.17573975 mg/ml</p>	<p data-bbox="854 1646 1455 1719">Concentración aproximada después de 10 días: 0.723341906 mg/ml</p>

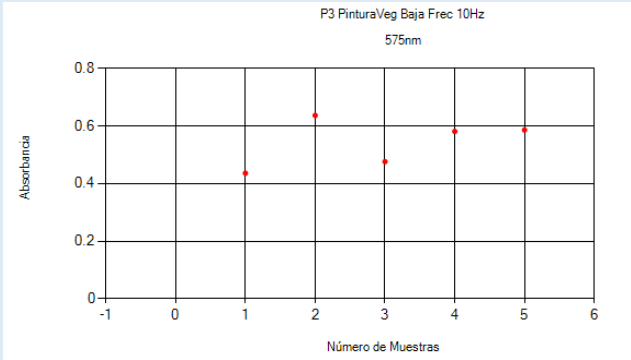
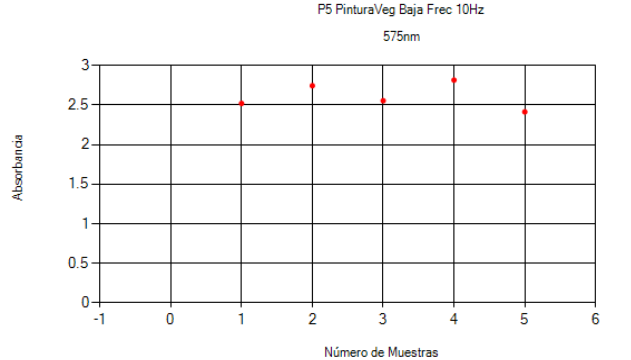
Considerando las concentraciones medidas. Se procedió a realizar otras mediciones, pero ahora con luz obturada a baja frecuencia y otras a alta frecuencia dentro del rango de las frecuencias que ofrece el dispositivo. Las frecuencias seleccionadas fueron de 10Hz y 750Hz.

En la Tabla 54 se puede apreciar las gráficas de absorción obtenidas de las mediciones de las muestras con el dispositivo obturando la fuente de luz de 400nm a 10Hz y a 750Hz.

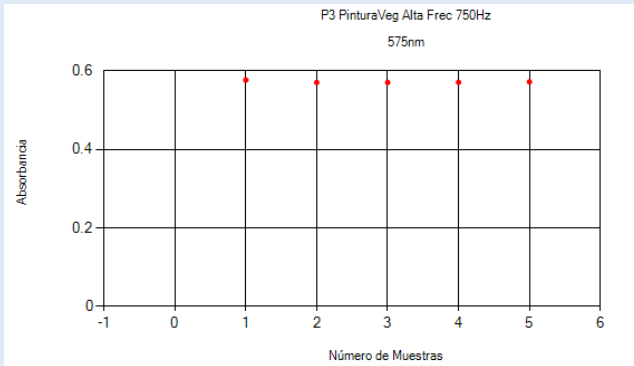
Para el caso de las gráficas de absorción obtenidas con la luz obturada a 10Hz, el dispositivo mostró medidas que no eran adecuadas, ya que existían variaciones considerables entre una y otra. Esto se debe a que el troceo de la luz a bajas frecuencias afectaba a la lectura del sensor y no se sabía con exactitud en qué momento este realizaba la lectura de la fuente, lo cual podía ser cuando apenas se encendía la fuente o cuando estaba en su máxima intensidad. Esta es la razón principal por la cual se decidió omitir la luz troceada a la lámpara UV debido a que la velocidad del motor pololu que se tenía ofrecía una frecuencia máxima de 42Hz lo que es considerada como baja frecuencia.

Por tanto, se comprobó que las obturaciones a bajas frecuencias perturban la sensibilidad de los sensores ópticos mostrando medidas erróneas de absorción y concentración.

Tabla 54. Medida de las disoluciones de pintura vegetal azul en agua con luz obturada a baja y alta frecuencia

Muestra de 0.17573975 mg/ml	Muestra de 0.723341906 mg/ml
<p data-bbox="180 1125 764 1199">Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 10 Hz</p>  <p data-bbox="175 1262 191 1402">Absorbancia</p> <p data-bbox="483 1209 646 1251">P3 PinturaVeg Baja Frec 10Hz 575nm</p> <p data-bbox="483 1541 597 1562">Número de Muestras</p>	<p data-bbox="862 1125 1446 1199">Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 10 Hz</p>  <p data-bbox="852 1262 868 1402">Absorbancia</p> <p data-bbox="1154 1209 1317 1251">P5 PinturaVeg Baja Frec 10Hz 575nm</p> <p data-bbox="1154 1541 1268 1562">Número de Muestras</p>
<p data-bbox="228 1581 716 1619">Concentración aproximada en mg/ml:</p> <p data-bbox="375 1629 565 1661"><u>0.129068046821...</u></p> <p data-bbox="375 1671 565 1703"><u>0.184309777881...</u></p> <p data-bbox="375 1713 565 1745"><u>0.140097548211...</u></p> <p data-bbox="375 1755 565 1787"><u>0.169028560319...</u></p> <p data-bbox="375 1797 565 1829"><u>0.170398622608...</u></p>	<p data-bbox="911 1581 1398 1619">Concentración aproximada en mg/ml:</p> <p data-bbox="1057 1629 1247 1661"><u>0.703376073818...</u></p> <p data-bbox="1057 1671 1247 1703"><u>0.765030722578...</u></p> <p data-bbox="1057 1713 1247 1745"><u>0.712639695046...</u></p> <p data-bbox="1057 1755 1247 1787"><u>0.784685684022...</u></p> <p data-bbox="1057 1797 1247 1829"><u>0.674066029173...</u></p>

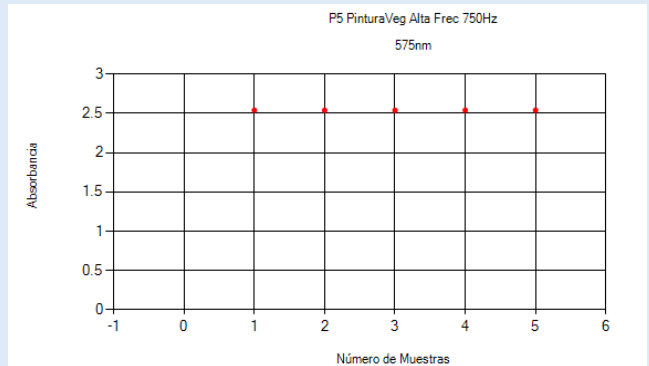
Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 750 Hz



Concentración aproximada en mg/ml:

0.167711481738...
0.166035799457...
0.166035799457...
0.166110059371...
0.166482431087...

Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 750 Hz



Concentración aproximada en mg/ml:

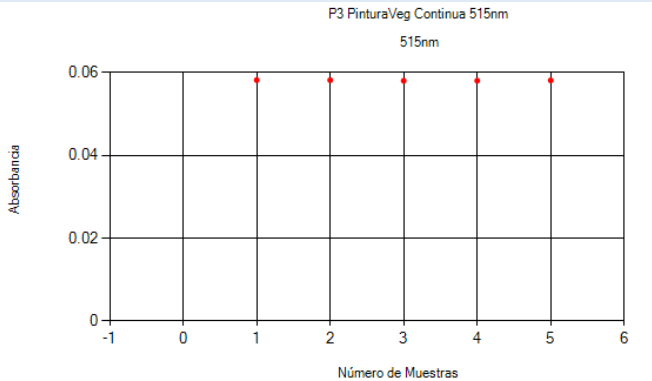
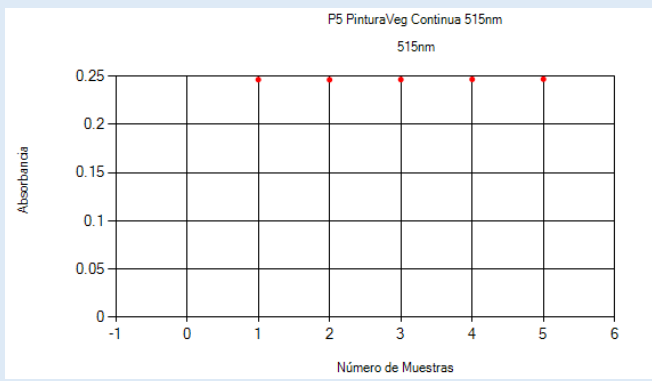
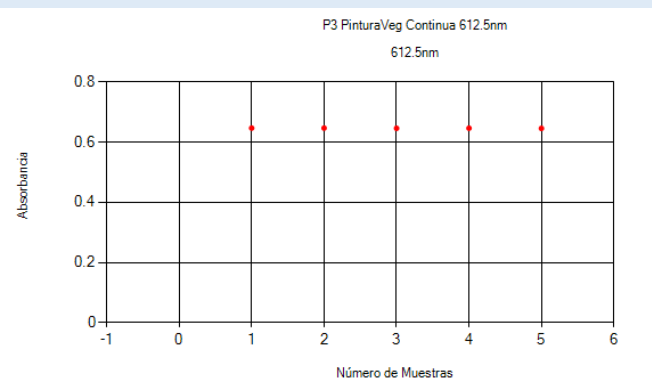
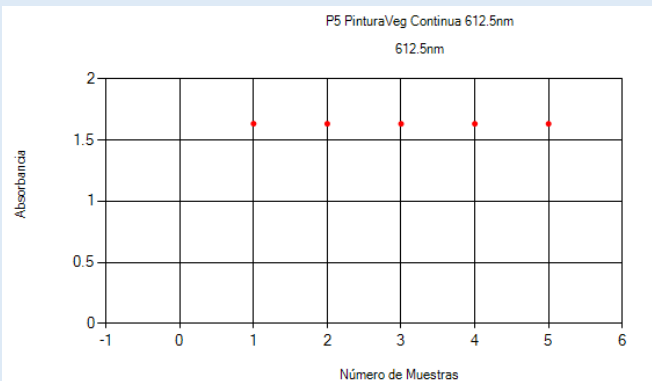
0.708831799775...
0.708602568931...
0.708545532105...
0.708717917457...
0.708890054748...

Analizando los resultados con luz obturada a 750Hz, la señal fue más estable, debido a que los sensores ópticos no distinguían completamente la obturación y veían la fuente de luz como si fuera continua, lo cual no afectó en las mediciones. Pero al comparar las concentraciones obturadas con la concentración con fuente de luz continua de la muestra, notamos que la señal obturada muestra menos error que la señal continua. Todas las curvas de calibración se realizaron con luz continua, y durante este proceso se programó una secuencia para que la fuente de luz y el sensor se estabilicen y después de un tiempo se tome la medida. Lo que sucede con la señal obturada a 750 Hz es que la fuente de luz no se estabiliza y al realizar el proceso de encendido y apagado tan rápido, al encender el led se muestra una luz brillante. Esto quiere decir que se presenta una ligera caída de corriente en la lectura continua, pero esto se tomó en cuenta al hacer las curvas de calibración ya que el cálculo de la resolución y el error es con respecto a las medidas de las fuentes con luz continua.

Si observamos las gráficas de absorción y las concentraciones medidas con una frecuencia de 750 Hz, notamos que los valores varían en el orden de las milésimas, lo que muestra un error muy pequeño entre las medidas realizadas.

Otro experimento importante que se realizó fue el de medir la concentración y absorbancia de las muestras, pero con una longitud de onda arriba y otra longitud de onda abajo disponible en el sistema, con respecto a la longitud de onda en donde la sustancia presenta mayor absorbancia. Para las muestras de agua con pintura vegetal azul, la longitud de onda en donde se presentó mayor absorbancia es de 575nm, por lo que se eligió la longitud de 515nm y la de 612.5nm, para ver las concentraciones y absorciones que resultan.

Tabla 55. Mediciones de la pintura vegetal diluido en agua con diferentes longitudes de onda.

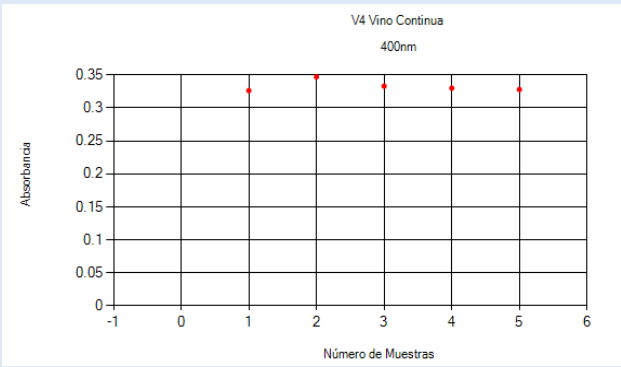
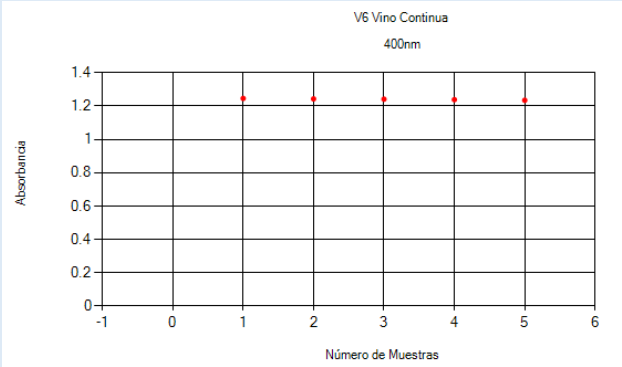
Muestra de 0.125 mg/ml a 575nm	Muestra de 0.5 mg/ml a 575nm
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 515nm</p>  <p>P3 PinturaVeg Continua 515nm 515nm</p>	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 515nm</p>  <p>P5 PinturaVeg Continua 515nm 515nm</p>
<p>Concentración a 515nm: 0.0249237 mg/ml</p>	<p>Concentración a 515nm: 0.076889524 mg/ml</p>
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 612.5nm</p>  <p>P3 PinturaVeg Continua 612.5nm 612.5nm</p>	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 612.5nm</p>  <p>P5 PinturaVeg Continua 612.5nm 612.5nm</p>
<p>Concentración a 612.5nm: 0.18697792 mg/ml</p>	<p>Concentración a 612.5nm: 0.45867282 mg/ml</p>

Como se observa en la Tabla 55, podemos ver que al realizar el análisis de las muestras con otras longitudes de onda que son diferentes a la cual la sustancia presenta mayor absorción, las concentraciones que muestra el programa son distintos y tienen un error considerable si las comparamos con la longitud de onda con la que fueron calibradas y que se observa en la Tabla 53.

Para el caso del vino tinto tipo Jerez, se tomaron dos disoluciones de las muestras que se habían almacenado: una muestra con una concentración de 1.56%V/V y otra con una concentración de 6.25%V/V.

Al igual que las muestras de la pintura vegetal estas muestras también se dejaron reposar 10 días y se realizó la lectura de la concentración con la longitud de onda con la que se calibró al onceavo día. En la Tabla 53, se presentan las gráficas de absorción de las muestras y enseguida la medida de la nueva concentración obtenida utilizando la curva de calibración correspondiente al vino tinto.

Tabla 56. Concentraciones obtenidas del vino tinto tipo Jerez en agua después de 10 días

Muestra de 1.56%V/V	Muestra de 6.25%V/V
<p>0.3125 ml de Vino 19.6875 ml de Agua Gráfica de Absorbancia de la Muestra</p> 	<p>1.25 ml de Vino 18.75 ml de Agua Gráfica de Absorbancia de la Muestra</p> 
<p>Concentración aproximada después de 10 días: 4.89329442%V/V</p>	<p>Concentración aproximada después de 10 días: 18.56524645%V/V</p>

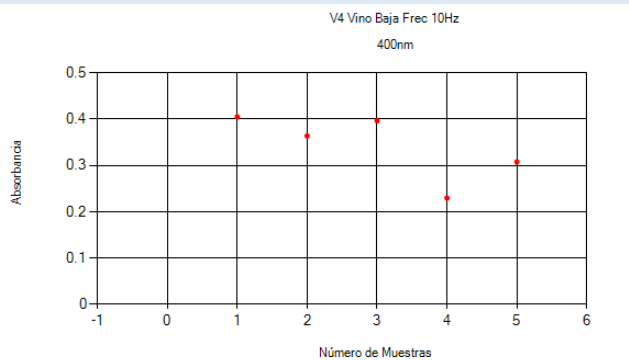
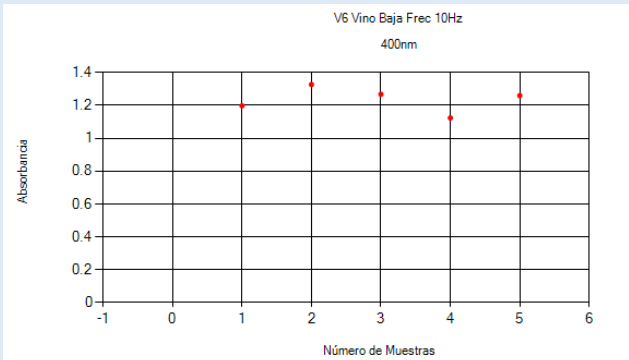
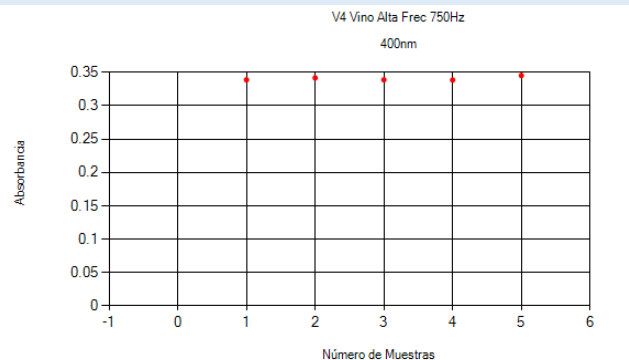
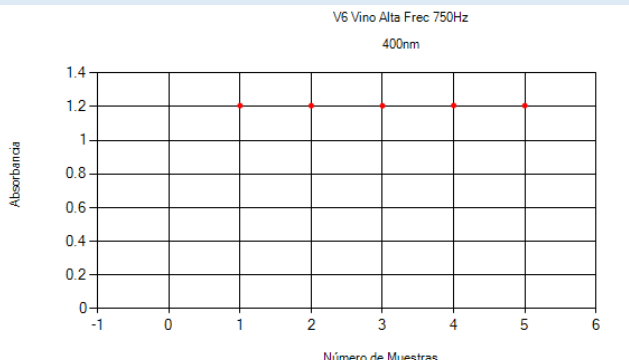
Como se aprecia en la Tabla 56, las concentraciones aumentaron aproximadamente el triple con respecto a la muestra original. Es importante conocer que cuando se realiza un Vino, Cerveza o Sidra, los elementos que constituyen a estas bebidas alcohólicas pasan por una etapa de fermentación que es un proceso biológico en ausencia de oxígeno por la actividad de microorganismos que procesan hidratos de carbono como azúcares, glucosa, fructosa o sacarosa, para finalmente poder obtener un alcohol en forma de etanol. Los microorganismos se obtienen de las levaduras y bacterias que se encuentran en las frutas y cereales que también contribuyen al sabor de los productos fermentados.

Lo que sucede en el experimento es que al agregar agua al vino y diluirlo, se disminuye la concentración del vino y ya no es puro, pero también estamos introduciendo moléculas de hidrógeno y oxígeno, por lo que el oxígeno puede descomponer a algunos microorganismos y materia orgánica que se encuentran en el vino, esto sucede con el tiempo y con las

variaciones de temperatura del ambiente. Por esta razón la solución se vuelve más turbia y aparenta medir más concentración de vino cuando realmente estamos viendo la descomposición del vino en el agua.

Considerando las concentraciones obtenidas en la Tabla 56. Se procedió a realizar las mismas medidas, pero utilizando luz obturada, una a baja frecuencia y otra a alta frecuencia dentro del rango de las frecuencias que ofrece el dispositivo. Las frecuencias que se eligieron fueron de 10 Hz y 750 Hz.

Tabla 57. Medidas de las disoluciones de vino tinto tipo Jerez en agua con luz obturada a baja y alta frecuencia

Muestra de 4.89329442% V/V	Muestra de 18.56524645% V/V
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 10Hz</p> 	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 10Hz</p> 
<p>Concentración medida aproximada en %V/V:</p> <p><u>5.980664337053...</u></p> <p><u>5.360976533278...</u></p> <p><u>5.856548282828...</u></p> <p><u>3.342610176017...</u></p> <p><u>4.516623096574...</u></p>	<p>Concentración medida aproximada en %V/V:</p> <p><u>17.91523793663...</u></p> <p><u>19.86256781118...</u></p> <p><u>18.97270578110...</u></p> <p><u>16.80586916222...</u></p> <p><u>18.84720677506...</u></p>
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 750 Hz</p> 	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra con luz obturada a 750 Hz</p> 

Concentración medida aproximada en %V/V:	Concentración medida aproximada en %V/V
<u>4.982124314219...</u>	<u>18.03993932574...</u>
<u>5.026324334751...</u>	<u>18.03559567605...</u>
<u>4.983717870517...</u>	<u>18.03409556770...</u>
<u>4.978936851128...</u>	<u>18.05790358043...</u>
<u>5.080434964172...</u>	<u>18.04749250764...</u>

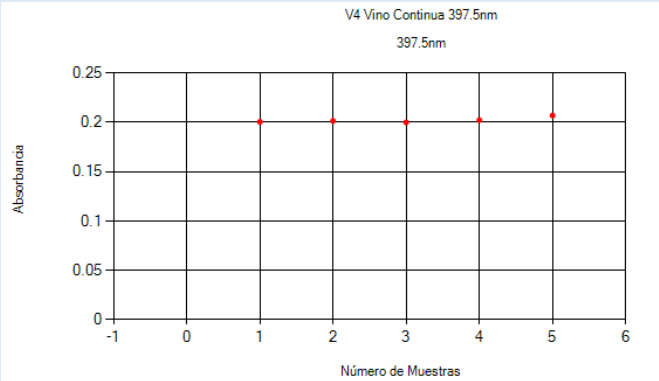
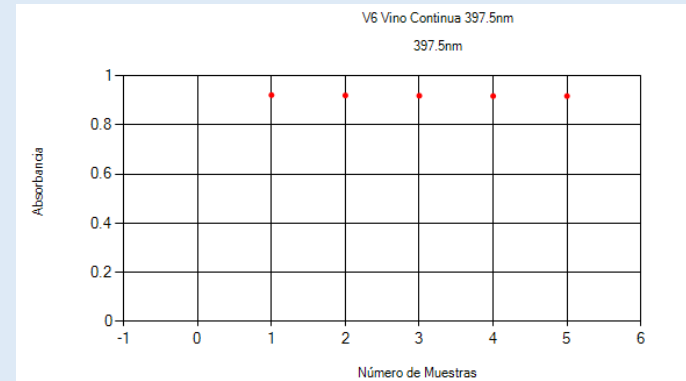
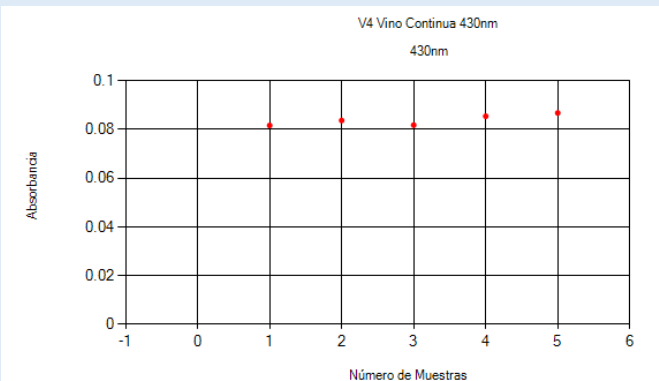
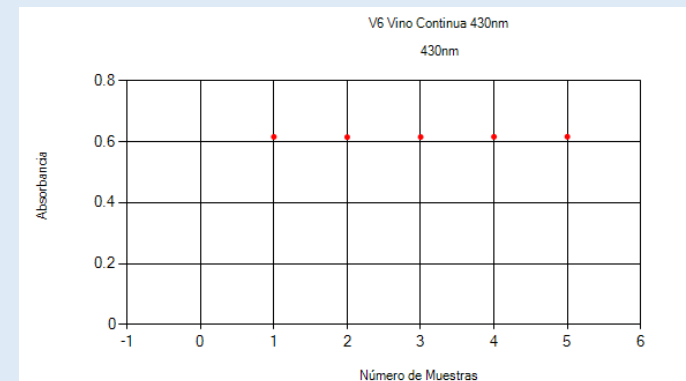
Como se muestra en la Tabla 57, el efecto de la obturación a bajas frecuencias en las medidas de las muestras de vino tinto fue muy similar al ocurrido a las de la pintura azul. Si se observan las gráficas de absorbancia, las medidas no son estables, estas variaciones ocurren porque la baja frecuencia del encendido y apagado de la fuente de luz afecta en la lectura de los sensores ópticos y por lo tanto afecta en el cálculo de la concentración, mostrando en pantalla variaciones considerables.

Analizando las gráficas de absorción con obturación a altas frecuencias en el caso de la muestra de 18.56524645%V/V, mostró el mismo efecto que en la sustancia anterior (pintura vegetal) ya que se percibe que el error disminuyó en los decimales, esto por el efecto de que la fuente de luz no se estabiliza y solo enciende y apaga a su máxima intensidad en cuestión de instantes. En el caso de la muestra de 4.89329442%V/V, se puede observar que el error es negativo, es decir, midió más concentración. Aquí el efecto de la obturación no mitigo el error, pero finalmente la lectura es adecuada ya que no presenta gran diferencia con respecto a la medida tomada de la luz continua.

El último experimento consistió en medir la concentración y absorbancia de las muestras de las disoluciones del vino tinto tipo Jerez, utilizando una longitud de onda arriba y otra abajo con respecto a la longitud de onda en donde la sustancia absorbe más. En el caso del vino tinto tipo Jerez, la longitud de onda que presentó mayor absorbancia fue de 400nm, por lo que se seleccionaron las longitudes de onda de 397.5nm y 430nm para realizar las mediciones correspondientes.

Los datos obtenidos de estas mediciones se muestran en la Tabla 58.

Tabla 58. Mediciones del vino tinto tipo Jerez diluido en agua con diferentes longitudes de onda.

Muestra de 4.89329442% V/V a 400nm	Muestra de 18.56524645% V/V a 400nm
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 397.5nm</p> 	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 397.5nm</p> 
<p>Concentración a 515nm: 0.0249237%V/V</p>	<p>Concentración a 515nm: 0.076889524%V/V</p>
<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 430nm</p> 	<p>Gráfica de Absorbancia de la Muestra a 430nm</p> 
<p>Concentración a 612.5nm: 0.18697792%V/V</p>	<p>Concentración a 612.5nm: 0.45867282%V/V</p>

Se observa en la Tabla 58 que al realizar el análisis de las muestras con otras longitudes de onda diferentes a la que la sustancia absorbe más, las concentraciones que muestra el programa son distintos y tienen un error considerable si las comparamos con los resultados obtenido a la longitud de onda con la que fueron calibradas (Tabla 56).

Cabe resaltar que las longitudes de onda se obtuvieron de la hoja de datos de cada fuente de luz, pero para asegurar la longitud de onda emitida era necesario medir cada fuente con un espectrofotómetro de laboratorio, pero debido a la crisis derivado de la pandemia de COVID-19, no fue posible contar con este aparato para verificar las longitudes de onda exacta de cada fuente de luz.

Capítulo 6: Conclusiones

6.1 Conclusiones

Conclusiones de Trabajo Terminal 1

Es importante conocer los principios teóricos que gobiernan al sistema nefelométrico multi-espectral debido a que se debe tener clara la diferencia entre nefelometría y turbidimetría, así como las que existen entre la teoría e implementación física de cada técnica. La ventaja más grande del sistema que se está desarrollando es que involucra ambas técnicas para tener una medición con mayor precisión a partir de la comparación de los resultados que se obtengan con las curvas de calibración que se obtendrán midiendo concentraciones estándares creadas con herramientas de precisión para que se pueda tener un resultado confiable. Es importante tomar en cuenta que las mediciones pueden variar debido a agentes externos como temperatura del ambiente, suciedad en la cubeta de cuarzo, emisión menor de la radiación lumínica de la fuente entre otros que en lo posible se tiene que mitigar para realizar mediciones correctas. Este sistema se está realizando tratando de que los costos de construcción sean económicos frente a un instrumento comercial, los cuales cuentan con una mayor gama y selección de manera precisa de las longitudes de onda debido a que poseen un sistema monocromático, en comparación con el que se está desarrollando que se está trabajando con un sistema revolver de fuentes de luz que tendrán una longitud de onda fija para diferentes puntos del espectro electromagnético. Cabe recordar que el proyecto está pensado para hacer pruebas rápidas de muestras de agua y así poder determinar la calidad de esta por lo que no es necesario abarcar todas las fuentes de luz. También es vital la comprensión del funcionamiento del sistema acústico que por medio de la velocidad de las ondas de sonido en el agua se buscará calcular la concentración de esta de un elemento modelo. Aquí se tomaron en cuenta varios factores como la frecuencia de excitación del transductor, la distancia entre el transductor y la pared de la tina y el elemento modelo a hacer las pruebas de concentración. Para realizar el análisis en el tiempo de los datos obtenidos se implementó el uso de las series de tiempo con transformada de Fourier en tiempo discreto para que el usuario pueda observar cuál es el periodo de tiempo en donde se presenta más contaminación de un elemento en especial.

Para el diseño del sistema se apegó en lo posible en la elección de materiales comerciales, esto para abaratar costos y ahorrar en la fabricación y diseño de varios de estos componentes, como es el caso del sensor espectrofotómetro que tiene la instrumentación necesaria para el tratamiento de las señales obtenidas de varios fotodiodos y así leer los valores utilizando el protocolo I²C o como es el caso del sensor UV que tiene un circuito de acondicionamiento a una salida analógica, dando así valores de tensión pequeñas que con un amplificador y un ADC se pueda leer. Por el contrario, en caso de no haber encontrado estos sensores, la alternativa hubiera sido la implementación y diseño del circuito amplificador de

transimpedancia y filtros antialiasing, para realizar las lecturas de fotodiodos. Además, se buscó que la creación de los circuitos eléctricos fuera de manera simple con el propósito de diseñarlos a través de módulos.

Para lo que es la tarjeta de control se decidió utilizar el controlador ChipKit uC32 debido a las ventajas que ofrece frente a uno diseñado. La primera es que tiene una arquitectura física similar a la de un Arduino UNO haciendo accesible el uso de las shields en caso de que se requiera utilizar alguno en el futuro. En cuanto a pines, este posee un mayor número en comparación a un Arduino común y el PIC16F887, teniendo más pines disponibles para hacer interrupciones o alguna tarea específica. Además, es fácil de programar ya que es flexible y soporta múltiples lenguajes de programación, por lo cual se puede elegir el más conveniente para realizar estas tareas, y junto con esto posee varios protocolos de comunicación de los cuales en este proyecto se utilizarán varios como lo es SPI, I²C, UART y USB. Finalmente, el microcontrolador trabaja a niveles lógicos de 3.3V, lo cual es adecuado ya que la mayoría de los circuitos integrados y módulos que se usaran trabajan con esos niveles lógicos.

Para la visualización de la información se creará una interfaz gráfica amigable con el usuario que tendrá un código de software intérprete y muestre las variables que el usuario desee medir y estudiar, por lo que el software será flexible de acuerdo a las necesidades del usuario. A partir de esto, el software intérprete generará las gráficas de medición y análisis de series de tiempo correspondiente, esto está pensado para que el usuario solo se encargue de analizar las muestras que desee. La forma de programación de la interfaz y el microcontrolador será en formas de módulos y funciones de programación. La creación de módulos de programación nos permitirá dividir tareas y tener un mejor control del programa principal, por este motivo no se tendrá problema en la implementación de la interfaz gráfica y los múltiples protocolos de comunicación así como el control de los procesos que requiera hacer el microcontrolador.

Otra de las innovaciones principales de este proyecto es el diseño del revolver de leds, el cual reemplaza lo que es a un sistema monocromático. Es importante mencionar que al principio se pensaba diseñar una placa rectangular con una cremallera y un piñón para la selección de la fuente de luz, pero la opción del revolver resultó mucho mejor ya que implementándolo con un motor a pasos se puede contar los pasos recorridos y mediante la dirección se puede determinar de manera precisa la posición de las diferentes fuentes de luz, además de que el mismo disco revolver se puede utilizar como placa PCB donde estarán conectados y soldados los circuitos para el control de las fuentes de luz.

Se espera que los circuitos de obturación eléctrica y mecánica muestren variaciones en las mediciones de absorción ya que se espera que a ciertas longitudes de onda y frecuencias de obturación ocurra una excitación en la molécula, partícula o ion en estudio y se comporte de manera diferente, aunque es importante mencionar que no se encontró información acerca de este fenómeno debido a que en los experimentos documentados solo mencionan la emisión

de un haz de luz sin trocearlo, por lo tanto, aquí se tiene un campo nuevo de estudio y de investigación para estudiar este fenómeno.

Para el circuito de control del transductor acústico, se encontró un integrado que realiza la tarea de emitir pulsos de “TRIGGER” y recibir el “ECHO” por el mismo componente, esto ofrece una gran alternativa a implementar debido a que los circuitos electrónicos que componen al integrado se pueden programar para que se adecue a las necesidades del desarrollador y así se evite el diseño de más módulos de circuitos electrónicos. Otra ventaja que posee es que toda la comunicación se lleva mediante protocolo SPI, por lo que necesita únicamente tres pines del microcontrolador para el envío y recepción de datos libremente. El complemento del integrado anteriormente mencionado también facilita un proceso que bien se podría llevar a cabo con programación dentro del microcontrolador, el cual es la medición del tiempo transcurrido entre el envío de un bit de “START” y uno de “STOP”, que simboliza el momento en que se emitió el “TRIGGER” y el tiempo en que llegó el “ECHO”, este tiempo lo podemos leer mediante protocolo SPI y realizar los cálculos pertinentes para determinar la velocidad del sonido en el medio.

Todas las piezas del diseño mecánico fueron medidas, calculadas y simuladas en software de CAD, esto para garantizar que los elementos mecánicos y electromecánicos tengan la fuerza suficiente y torque suficiente para soportar las piezas o mecanismos que tengan montados ya que estos deben garantizar que los motores lleguen a la posición deseada y las estructuras soporten el peso de los contenedores y los motores. Se utilizó teoría de diseño de elementos de máquina para el análisis de los componentes de transmisión de movimiento y verificar si los elementos mecánicos que se seleccionaron como tornillos, soportes y motores eran los adecuados para llevar a cabo el trabajo sin sufrir alguna deformación.

Es importante mencionar que surgió la necesidad de diseñar algunas piezas para los mecanismos que este proyecto utilizará, dado a que estas están pensadas para fabricarlas en impresión 3D y con corte y unión con pegamento epoxi. Estas piezas son vitales ya que la gran mayoría son soportes para los sensores ópticos, contenedores de las muestras, bases para fijar motores, entre otras. Estas piezas fueron diseñadas y verificadas en CAD para comprobar su funcionamiento.

Finalmente, desde el punto de vista de la ingeniería mecatrónica en el diseño del proyecto, se obtuvo una muy completa retroalimentación de toda la carrera, en donde se involucraron temas de cursos básico hasta algunos más complejos de diferentes áreas que conforman la disciplina como son la electrónica, programación, automatización, mecánica, control, diseño en 3D, simulación, química, redacción e investigación, que sin el conocimiento de ellos no se hubiese podido llevar a cabo el diseño del presente proyecto.

Conclusiones de Trabajo Terminal 2

El desarrollo de la segunda etapa del trabajo terminal fue un gran reto debido a la crisis mundial derivada de la pandemia de COVID-19. Esto afectó en el desarrollo del proyecto, ya que anteriormente se contaba con el uso de laboratorios e instrumentación especializada que pudo ser utilizada para calibrar el sistema nefelométrico, el sistema acústico y preparar las concentraciones patrón con una mayor precisión, pero lamentablemente eso no fue posible. Derivado de lo anterior, el proyecto se tuvo que adaptar a las herramientas con las que se contaba en casa, desafortunadamente no se logró reunir todos los materiales que se propusieron originalmente en el diseño detallado de Trabajo Terminal 1, por lo que se tuvieron que buscar nuevas alternativas que se adecuaban a la función o requerimiento.

Algunos de los materiales especiales como son las probetas de cuarzo, el anillo de conectores, los motores a pasos, los sensores ópticos, circuitos integrados, tornillos y uniones IPS, el perfil IPS y el Dry-Film se solicitaron desde otros estados de la República e incluso desde otros países. Esto en algunas ocasiones causó retrasos en el desarrollo del prototipo, sobre todo en la parte electrónica, ya que se tenía que esperar a que el material llegara para manufacturar las placas electrónicas y realizar las pruebas pertinentes.

La construcción de la estructura y el chasis se llevó a cabo con el uso de herramienta prestada y propia como la sierra eléctrica, esmeriles, dremel, router para madera entre otros elementos. Pese a estas limitaciones, se obtuvieron buenos resultados en la construcción y ensamblado de la estructura general, la cual finalmente se manufacturó con perfil de aluminio IPS 20x20 y MDF comprimido, el cual fue pintado de color negro mate. De esta manera, las medidas finales del prototipo quedaron de 40.8cm de ancho x 40.3cm de largo x 32.8cm de alto, lo cual representa un tamaño considerable para un dispositivo de esta índole.

Muchos de los materiales designados para los soportes del sistema mecánico tuvieron que cambiarse debido a que la fabricación de estas piezas requería impresoras 3D, con las cuales no se contaba, por lo tanto, se seleccionó como material sustituto láminas de MDF comprimido, las cuales se trabajaron utilizando la sierra eléctrica y el disco de corte del Dremel. Los soportes manufacturados con este nuevo material fueron buenos y cumplieron con la función de soportar correctamente a los elementos del sistema mecánico.

Debido a la falta de material electrónico especializado como osciloscopios y herramientas para soldar elementos de montaje superficial, se llegó a un acuerdo con el jurado de que el sistema acústico quedara descartado, al igual que el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas en el espectro de Fourier. Esto último también quedo descartado debido a que se requería la calibración del sistema nefelométrico con el sensor colocado a 90 grados, sin embargo, para obtener las curvas de calibración de este sensor era vital tener diferentes muestras patrón de un laboratorio que avalara los resultados en NTU, las cuales no fueron posible adquirir.

La creación de la interfaz gráfica (interfaz hombre - máquina), para el control del dispositivo, no presentó ningún problema en su desarrollo ya que la plataforma que se utilizó fue SharpDevelop que es muy similar a Visual Basic 2020 en lenguaje #C. La comunicación bidireccional que tuvo la interfaz con el microcontrolador del sistema fue exitosa, no presentó ningún problema de comunicación mientras el sistema se encontrara en ejecución esto gracias a la planeación de la trama de datos que se definió.

El microcontrolador PIC de la tarjeta ChipKit uc32 se programó en lenguaje C utilizando algunas de las librerías que los fabricantes de los circuitos integrados y sensores proponían. En varios casos no existieron librerías para algunas funciones específicas que se requerían, por lo que en esos casos se crearon funciones y secuencias para el control de los dispositivos electrónicos. Por ello, para cada circuito electrónico se definió una secuencia de comunicación e instrucciones de operación embebido dentro del microcontrolador, a partir de funciones y rutinas en el código de programación. De igual manera se crearon funciones principales embebidas en la plataforma de programación SharpDevelop para realizar cálculos matemáticos, recepción de datos y así mostrar los resultados en la interfaz gráfica.

Cabe mencionar que, debido a la falta de instrumentación electrónica, fue complicado comprobar el comportamiento de las señales de entrada y salida de algunos de los circuitos de acondicionamiento diseñados, por lo que en la medida de lo posible se optó por sustituir dichos diseños por elementos que se encontraran en el mercado. En varios casos se encontraron sustitutos con los que se pudo mejorar el funcionamiento de los elementos que se tenían que controlar.

Al construir las curvas de calibración para obtener la concentración aproximada de las muestras, fue necesario producir diferentes disoluciones patrón con concentraciones conocidas, en donde, se utilizaron sustancias como sal, pintura vegetal azul y vino tinto tipo Jerez. En el caso de las disoluciones de la sal, el dispositivo no pudo distinguir correctamente la diferencia entre sus diferentes concentraciones, por lo que a pesar de que la concentración de la muestra fuera alta, su turbidez no presentaba grandes diferencias a la de una muestra poco concentrada. En cuanto a las disoluciones de la pintura vegetal azul y del vino tinto tipo Jerez, se observó que en las disoluciones poco turbias el dispositivo no las alcanza a percibir correctamente, esto mismo ocurre para las sustancias muy turbias, ya que en este caso la disolución absorbe toda la luz de la fuente emisora.

Por último, se encontró que algunas fuentes de luz llegaban a saturar a los sensores ópticos y así la variable que almacena las lecturas se desbordaba, provocando con esto que se enviara un valor erróneo a la interfaz gráfica. Esto sucedía porque el circuito de las fuentes de luz fue diseñado para que los leds encendieran a su máxima intensidad, por lo que llegaban a saturar a algunos sensores. A este problema se le encontraron dos soluciones. La primera consistió en que a las fuentes de luz que el sensor las ubicaba como emisiones muy altas, se les colocara filtros sobre el diodo led para disminuir su intensidad. La segunda solución fue cambiar el

canal de lectura del sensor espectrofotómetro por una de menor rango, ya que el espectrofotómetro cuenta con 18 sensores que leen diferentes longitudes de onda y cada led tiene mínimo tres canales que lo ven, por lo que se decidió cambiar los canales seleccionados del espectrofotómetro para mitigar el desbordamiento de las variables.

6.2 Trabajo futuro

Pensando en la innovación y mejora continua del presente proyecto, se encontraron elementos que pueden mejorar y perfeccionar el funcionamiento del sistema, brindando nuevas herramientas para hacer compacto el proyecto y mejorar los análisis de las muestras bajo ciertas condiciones, a continuación, se presentan las mejoras que se podrían implementar en un trabajo futuro.

1. Aumentar la gama de elementos que se encuentren en suspensión en agua, como diferentes moléculas orgánicas y diferentes clases de enlaces iónicos.
2. Aumentar la gama de detección de elementos que se encuentren en suspensión en agua, para el sistema acústico, detectar moléculas orgánicas modificando las frecuencias de resonancia del eco sin llegar a provocar cavitaciones en el medio.
3. Implementar un sistema de control de temperatura, para analizar la muestra con cambios de temperatura y observar el comportamiento de la concentración de la muestra a diferentes longitudes de onda
4. Diseño, construcción e implementación de un sistema monocromático que seleccione con mayor precisión la longitud de onda que se desea estudiar, agregando elementos como lámparas de wolframio, tungsteno, xenón o arco de mercurio, colimadores, prisma y filtros de difracción.
5. Diseño, construcción e implementación del sistema mecánico que permita la selección de luz obturada o luz continua.
6. Implementación de un revolver de filtros de luz, que permita pasar ciertas longitudes de onda o bien cierta radiación lumínica a la muestra.
7. Diseñar un contenedor en donde el análisis nefelométrico y acústico se puedan realizar al mismo tiempo.
8. Diseño, construcción e implementación de un circuito detector de radiaciones lumínicas con los elementos fotosensibles necesarios, ubicadas en una placa de PCV para la implementación del sistema.
9. Implementación de sistema de carga de tensión para la batería LiPo.
10. Aumentar la gama de frecuencias del transductor ultrasónico, para que funcione como detector de velocidad y tina ultrasónica para poder percibir los cambios de las partículas en suspensión en ese medio.

Implementación de pantallas táctiles o LCD en el sistema nefelométrico multi-espectral y acústico para mostrar resultados de concentraciones, turbidez, absorción y velocidades sin necesidad de conexión de una computadora.

Capítulo 7: Anexos

7.1 Presupuesto

En este apartado se muestra la Tabla 59 que incluye un estimado del gasto de los materiales que se utilizaron durante el desarrollo del presente prototipo. Cabe señalar que no incluyeron gastos de servicios públicos, comida, materiales consumibles, herramientas y el desgaste de las mismas.

Tabla 59. Gastos en Materiales del Proyecto.

Nombre	Descripción	Proveedor	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sistema eléctrico y electrónico					
Electrónica en general					
Microcontrolador	Chip Kit uC32	Mouser Electronics	1	\$ 840.00	\$ 840.00
Tiras de pines macho		SanDoRobotics	5	\$ 10.00	\$ 50.00
Tiras de pines hembra		SanDoRobotics	5	\$ 10.00	\$ 50.00
Rollo de cable de 5 metros		El último recurso	1	\$ 35.00	\$ 35.00
Juego de conectores Dupont JST horizontales		SanDoRobotics	2	\$ 250.00	\$ 500.00
Juego de conectores Dupont JST verticales		SanDoRobotics	2	\$ 220.00	\$ 440.00
Switch		El último recurso	1	\$ 30.00	\$ 30.00
1m Cable para luz		Tlapalería	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Socket	Socket para foco estándar	Tlapalería	1	\$ 13.36	\$ 13.36
Disipadores		El último recurso	4	\$ 8.00	\$ 32.00
Zocalos 14 pines		El último recurso	5	\$ 5.00	\$ 25.00
Zocalos 16 pines		El último recurso	5	\$ 5.00	\$ 25.00
Flux para soldar y limpiar		Pigra	1	\$ 40.00	\$ 40.00
Revelador y Eliminator		Pigra	2	\$ 51.00	\$ 102.00
Rollo de 5m de Dry-Film		Circuitos Digitales de México	1	\$ 716.00	\$ 716.00

Soldadura		Pigra	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Malla desoldador	1 rollo de 5m	Pigra	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Pasta para soldar		Pigra	1	\$ 35.00	\$ 35.00
SparkFun Triad Spectroscopy Sensor AS7265x (Qwiic)	Sensor espectrofotómetro de 18 canales	SparkFun	2	\$ 1,263.30	\$ 2,526.60
Sensor Ultravioleta (UV) - Adafruit VEML6070	Sensor UV	Mouser Electronics	2	\$ 155.04	\$ 310.08
Interruptor Óptico	Fototransistor TCST2103	Mouser Electronics	2	\$ 20.68	\$ 41.36
Lampara Germicida UV	Lampara UV	Norman Lamps Inc.	1	\$ 702.15	\$ 702.15
Placas de fibra de vidrio de cobre de una cara		Pigra	3	\$ 40.00	\$ 120.00
Placas de fibra de vidrio de cobre de doble cara		Pigra	2	\$ 65.00	\$ 130.00
Tarjeta de control					
Regulador 7812		AG Electrónica	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Regulador 7805		AG Electrónica	1	\$ 18.10	\$ 18.10
Resistencia 220ohms 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Resistencia 10kohms 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Capacitor 0.33uF para Regulador 7805		AG Electrónica	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Capacitor 0.1uF para Regulador 7805		AG Electrónica	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Capacitor 100nF para RESET		AG Electrónica	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Transistor TIP42 para derivador de corriente		AG Electrónica	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Led Rojo DIP		AG Electrónica	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Bornera de 2 terminales		AG Electrónica	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Bornera de 3 terminales		AG Electrónica	1	\$ 6.00	\$ 6.00
Circuito obturador eléctrico					
LM555CMX/NOPB	Timer 555	Mouser Electronics	1	\$ 26.62	\$ 26.62

AD5206BRUZ100	Potenciómetro Digital de 100 ohms	Mouser Electronics	2	\$ 150.00	\$ 300.00
Resistencia 220ohms 1/4W SMD		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Capacitor 1uF SMD para el 555		Mouser Electronics	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Transistor 2N2222A SMD para el 555		Mouser Electronics	1	\$ 7.88	\$ 7.88
Diodo 1N4001 SMD para el 555		Mouser Electronics	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Circuito revolver de fuentes de luz					
Regulador 7805		AG Electrónica	1	\$ 18.10	\$ 18.10
Registro de desplazamiento	74HC595	Mouser Electronics	3	\$ 17.79	\$ 53.37
Compuerta AND	SN74LS08N	El último recurso Republica del Salvador	6	\$ 32.00	\$ 192.00
Transistores SMD	UM2222AU3T106	Mouser Electronics	24	\$ 7.88	\$ 189.12
Transistores de potencia	Transistor BD137G	Mouser Electronics	3	\$ 16.97	\$ 50.91
Resistencias de 1.2kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 1kohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Resistencia 1.5kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 18kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 8.2kohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	4	\$ 2.00	\$ 8.00
Resistencia 15kohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	4	\$ 2.00	\$ 8.00
Resistencia 820ohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 4.7kohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00

Resistencia 5.6kohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 15ohms a 5W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 12ohms a 5W		AG Electrónica	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Resistencia 27ohms a 5W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 390ohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 82ohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	4	\$ 2.00	\$ 8.00
Resistencia 150ohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	4	\$ 2.00	\$ 8.00
Resistencia 1.8ohms a 5W o 6W		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 33ohms SMD a 1/2W		AG Electrónica	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Resistencia 68ohms SMD a 1/4W		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Capacitor 0.33uF SMD para Regulador 7805		Mouser Electronics	1		\$ -
Capacitor 0.1uF SMD para Regulador 7805		Mouser Electronics	1	\$ 2.50	\$ 2.50
Transistor P2N222A SMD		Mouser Electronics	18	\$ 7.60	\$ 136.80
Transistor BD137 SMD		Mouser Electronics	5	\$ 14.20	\$ 71.00
Led de SMD 275 - 286nm	Led UV	Mouser Electronics	1	\$ 1,285.09	\$ 1,285.09
Led de SMD 365 - 370nm	Led UV	Mouser Electronics	1	\$ 431.17	\$ 431.17
Led UV 1W 375-380 nm / 3535	Led UV	AG Electrónica	2	\$ 28.00	\$ 56.00
Led de Potencia 1W Ultravioleta 390 - 395nm	Led UV	El último recurso Republica del Salvador	2	\$ 60.00	\$ 120.00
Led DIP 5mm Ultravioleta de onda 400 nm	Led UV	AG Electrónica Sucursal Salvador	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Led DIP 5mm Violeta Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 3.00	\$ 15.00

Led DIP 5mm Rosa Brillante	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Led DIP 5mm Naranja Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Led DIP 5mm Amarillo Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Led DIP 5mm Azul Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 2.00	\$ 10.00
Led DIP 5mm Verde Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 2.00	\$ 10.00
Led DIP 5mm Rojo Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 2.00	\$ 10.00
Led DIP 5mm Blanco Puro Estándar	Led VIS	AG Electrónica	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Led de SMD 850nm	LED IR	Mouser Electronics	1	\$ 163.70	\$ 163.70
Led Infrarrojo 25 Grados 875	Led IR	AG Electrónica	3	\$ 23.79	\$ 71.38
Led Infrarrojo 65 Grados 900nm	Led IR	AG Electrónica	2	\$ 125.00	\$ 250.00
Led Infrarrojo 20 Grados 940nm	Led IR	AG Electrónica	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Led Infrarrojo Galio arsénico	Led IR	AG Electrónica	2	\$ 86.25	\$ 172.50
Anillo de Conectores	Anillos de 6 hilos	Amazon	1	\$ 336.34	\$ 336.34
Circuito del espectrofotómetro y sensor UV					
Amplificador Operacional	OpAmp TL084	Mouser Electronics	1	\$ 17.17	\$ 17.17
Resistencia 10kohms SMD a 1/4W para Pull-up		Mouser Electronics	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Circuito de potencia de encendido de la lámpara UV					
MOC	MOC3023	Mouser Electronics	1	\$ 22.79	\$ 22.79
TRIAC	TIC226D	Mouser Electronics	1	\$ 20.68	\$ 20.68
Resistencia 220ohms a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Resistencia 180ohms a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Bornera de 3 pines		AG Electrónica	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Detector de barrera infrarrojo activo en bajo e interruptor activo en alto					

Resistencia 220ohms SMD a 1/4W			1	\$ 2.00	\$ 2.00
Interruptor Óptico	Fototransistor TCST2103	Mouser Electronics	2	\$ 20.68	\$ 41.36
Interruptor Mecánico		Amazon	1	\$ 33.00	\$ 33.00
Circuito de PWM, motorreductor y amplificador					
Optoacoplador P421F/EQUIVALENTE		Mouser Electronics	3	\$ 30.00	\$ 90.00
Puente H	L293D	AG Electrónica	1	\$ 76.72	\$ 76.72
Resistencia 220ohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	3	\$ 2.00	\$ 6.00
Resistencia 10kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	3	\$ 2.00	\$ 6.00
Bornera de 2 terminales		AG Electrónica	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Convertidor de nivel lógico bidireccional	TXS0108E	Mercado Libre	2	\$ 82.00	\$ 164.00
Subtotal					\$ 11,665.84947
Sistema acústico					
TDC1011PWR	Driver para ultrasónico	Mouser Electronics	2	\$ 106.00	\$ 212.00
TDC7200PWR	Driver para ultrasónico complemento	Mouser Electronics	2	\$ 64.00	\$ 128.00
Oscilador	Oscilador SMD 12MHz	Mouser Electronics	2	\$ 50.00	\$ 100.00
Resistencia 220ohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 1kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Resistencia 4.7kohms SMD a 1/4W		AG Electrónica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Capacitor 300pF SMD		Mouser Electronics	1	\$ 14.00	\$ 14.00
Capacitor 0.01uF SMD		Mouser Electronics	4	\$ 20.00	\$ 80.00

Capacitor 0.1uF SMD		Mouser Electronics	2	\$ 9.30	\$ 18.60
Capacitor 10uF SMD		Mouser Electronics	1	\$ 36.18	\$ 36.18
Capacitor 1uF SMD		Mouser Electronics	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Transductor ultrasónico resistente al agua	ultrasónico	Propiedad del IMP	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
Lamina de acrílico	Lamina de acrílico de 30.5 cm x 60.9 cm	Amazon	1	\$ 481.49	\$ 481.49
Subtotal					\$ 21,126.27
Sistema mecánico					
Cubeta de cuarzo UV	Celda de cuarzo	Amazon	2	\$ 1,912.77	\$ 3,825.54
Motorreductor de metal. 5:1	Motorreductor Pololu	SanDoRobotics	1	\$ 360.00	\$ 360.00
Bujes de montaje universal 5mm Diámetro	Bujes Pololu	SanDoRobotics	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Bujes de montaje universal 3mm Diámetro	Bujes Pololu	SanDoRobotics	1	\$ 110.00	\$ 110.00
Micro Servomotor Tower Pro SG90	Micro Servomotor	Pigra	2	\$ 100.00	\$ 200.00
Motor a pasos	NEMA 17	Amazon	2	\$ 480.28	\$ 960.56
Anillo de Conectores	Slip Ring - 6 Cables (2A)	Amazon	1	\$ 442.11	\$ 442.11
Soporte de Motor a paso Nema 17	Soporte de NEMA 17	Amazon	2	\$ 187.65	\$ 375.30
Tornillos M3 con tuerca	Tornillos y tuercas	Tlapalería	30	\$ 0.50	\$ 15.00
Cople Flexible	Cople Flexible 5x8x25mm	SanDoRobotics	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Tornillo y Tuerca ACME	Tornillo Trapezoidal 30mm (Incluye Tuerca)	SanDoRobotics	1	\$ 220.00	\$ 220.00
Barras para los Ejes Guías	Barra de Cromo de Eje Lineal – 30 cm	SanDoRobotics	2	\$ 80.00	\$ 160.00

Capítulo 7: Anexos

Chumacera para los Ejes y Tornillo	Chumacera Balero Para Eje Lineal 8mm – KFL08 (Paralelo)	SanDoRobotics	6	\$	80.00	\$	480.00
Soporte para micro motorreductor	Soporte pololu	SanDoRobotics	1	\$	40.00	\$	40.00
Tubo de PVC	Tubo de PVC de 2.5 in	Tlapalería	1	\$	20.00	\$	20.00
Tornillos		Tlapalería	30	\$	4.00	\$	120.00
Tuercas		Tlapalería	30	\$	4.00	\$	120.00
Caja de tornillos para perfil IPS	Paquete con 50 tornillos tipo Allen	Mercado Libre	2	\$	98.00	\$	196.00
Caja de escuadras para perfil IPS	Paquete con 20 escuadras	Mercado Libre	2	\$	475.00	\$	950.00
Caja de tuercas para perfil IPS	Paquete con 50 tuercas tipo Hammer	Mercado Libre	2	\$	183.00	\$	366.00
Caja de rondanas de metal gruesas	Paquete con 100 rondanas	Tlapalería	1	\$	35.00	\$	35.00
Láminas de MDF de 40x40		Papelería el Sol	7	\$	25.00	\$	175.00
Pintura en aerosol negra		Tlapalería	4	\$	55.00	\$	220.00
Agua desmineralizada	Botella con 2 litros	Superama	5	\$	35.00	\$	175.00
Anilina	Bolsa con 3 gramos	Papelería el Sol	2	\$	3.00	\$	6.00
Pintura Vegetal Azul	Bolsa con 3 gramos	Papelería el Sol	2	\$	3.00	\$	6.00
Sal	Bolsa de 1kg	Superama	1	\$	17.50	\$	17.50
Vasos de plástico cristal con tapa	Bolsa con 50 vasos con tapa	Materias Primas	1	\$	75.00	\$	75.00
Abrazadera para tubo de PVC		Tlapalería	1	\$	15.00	\$	15.00
Cuadritos adheribles	1 paquete con 50 cuadritos	Papelería el Sol	1	\$	35.00	\$	35.00
Gomas para IPS		Tlapalería	7	\$	5.00	\$	35.00
Subtotal						\$	9,925.01
TOTAL						\$	42,717.13

7.2 Distribución de Pines

La distribución de los pines utilizados para las conexiones en la Tarjeta de Desarrollo ChipKIT uC32 se pueden observar en la Tabla 60.

Tabla 60. Distribución de Pines en la Tarjeta de Desarrollo ChipKIT uC32.

Pin	Mnemónico	Descripción	Dispositivo Conectado (Bloque)
CONECTOR FUENTE DE ALIMENTACIÓN (POWER SUPPLY)			
1	RESET	Entrada del Master Clear	- Alimentación Positiva - Botón de Reset
2	3V3	Salida de Voltaje Regulada a 3.3V	- Salida Regulada +3.3V (J11)
4	GND	Tensión negativa de alimentación	- Conexión a Tierra
5	GND	Tensión negativa de alimentación	- Conexión a Tierra
6	VIN	Tensión positiva de alimentación	- Alimentación Regulada +12V (J10 y J20)
CONECTOR DE SEÑAL ANALÓGICA (ANALOG INPUTS)			
7	A0/D14	Entrada Analógica 0	- Señal UV Amplificada 1 (J6)
8	A1/D15	Entrada Analógica 1	- Señal UV Amplificada 2 (J7)
11	A4/D18/SDA	Datos Seriales I ² C	- SDA Espectrofotómetro 1 (J3) - SDA Espectrofotómetro 2 (J3)
12	A5/D19/SCL	Reloj Serial I ² C	- SCL Espectrofotómetro 1 (J3) - SCL Espectrofotómetro 2 (J3)
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI (SPI)			
26	SCLK	Reloj SPI	- SCLK Obturador Eléctrico (J2) - SCLK Transductor Ultrasónico (J4)
27	DIN	Entrada Serial de Datos	- SDO Obturador Eléctrico (J2) - SDO Transductor Ultrasónico (J4)
28	GND	Tensión negativa de alimentación	- Conexión a Tierra
29	DOUT	Salida Serial de Datos	- SDI Obturador Eléctrico (J2) - SDI Transductor Ultrasónico (J4)
CONECTOR DE SEÑAL DIGITAL (DIGITAL I/O)			
31	D0/RX	Entrada/Salida Digital 0 USART receptor asíncrono 1	- CSB7200 Transductor Ultrasónico (J4)
32	D1/TX	Entrada/Salida Digital 1 USART transmisor asíncrono 1	- CSB1011 Transductor Ultrasónico (J4)
33	D2/INT1	Entrada/Salida Digital 2 /Pin de Interrupción Externa 1	- S3 Detector de Barrera (J8)
34	D3/OC1	Entrada/Salida Digital 3 /Salida modulada por ancho de pulso 1	- CS Obturador Eléctrico (J2)
35	D4	Entrada/Salida Digital 4	- Selección Tipo de Señal Obturador Eléctrico (J2)
36	D5/OC2	Entrada/Salida Digital 5 Salida modulada por ancho de pulso 2	- PWM3 (J9)
37	D6/OC3	Entrada/Salida Digital 6	- PWM2 (J9)

		Salida modulada por ancho de pulso 3	
38	D7/INT2	Entrada/Salida Digital 7 Pin de Interrupción Externa 2	- S2 Detector de Barrera (J8)
39	D8/INT3	Entrada/Salida Digital 8 Pin de Interrupción Externa 3	- S1 Detector de Barrera (J8)
40	D9/OC4	Entrada/Salida Digital 9 Salida modulada por ancho de pulso 4	- PWM1 (J9)
42	D11/MOSI	Entrada/Salida Digital 11 Salida Serial de Datos	- INTB Transductor Ultrasónico (J15)
43	D12/MISO	Entrada/Salida Digital 12 Entrada Serial de Datos	- EN7200 Transductor Ultrasónico (J15)
44	D13/SCK	Entrada/Salida Digital 13 Reloj SPI	- EN1011 Transductor Ultrasónico (J15)
47	D26	Entrada/Salida Digital 26	- TRIGGER Transductor Ultrasónico (J15)
48	D27	Entrada/Salida Digital 27	- RESET Transductor Ultrasónico (J15)
49	D28	Entrada/Salida Digital 28	- ERRB Transductor Ultrasónico (J15)
50	D29	Entrada/Salida Digital 29	- Sleep Motores a Pasos (J12)
51	D30	Entrada/Salida Digital 30	- Reset Motores a Pasos (J12)
52	D31	Entrada/Salida Digital 31	- SCLK Registro de Desplazamiento (J1)
53	D32	Entrada/Salida Digital 32	- SER Registro de Desplazamiento (J1)
54	D33	Entrada/Salida Digital 33	- SRCLK Registro de Desplazamiento (J1)
56	D35/INT4	Entrada/Salida Digital 35 Pin de Interrupción Externa 4	- Dirección Motor a Pasos (J17)
57	D36	Entrada/Salida Digital 36	- Paso Motor a Pasos (J17)
58	D37	Entrada/Salida Digital 37	- M2 Motor a Pasos (J17)
59	D38/INT0	Entrada/Salida Digital 38 Pin de Interrupción Externa 0	- M1 Motor a Pasos (J17)
60	D39/RX2	Entrada/Salida Digital 39 USART receptor asíncrono 2	- Habilita 2 Motor a Pasos (J17)
61	D40/TX2	Entrada/Salida Digital 40 USART transmisor asíncrono 2	- Habilita 1 Motor a Pasos (J17)
62	D41	Entrada/Salida Digital 41	- Señal Lámpara UV (J5)

7.3 Evidencias de las pruebas realizadas

Prueba de encontrar la frecuencia de resonancia del transductor ultrasónico

El transductor ultrasónico se manufacturo para algunas aplicaciones y pruebas de alta presión y temperatura, actualmente este transductor no cuenta con una hoja de especificaciones donde mencione la frecuencia de excitación óptima para hacerlo funcionar, por tal motivo con ayuda de una aplicación implementada, y un osciloscopio se pudo conocer las frecuencias de excitación óptimas del transductor ultrasónico. Conocemos que está hecho de metal inoxidable y es resistente al agua por lo que lo hace ideal a aplicaciones en donde la onda tenga que viajar en medios acuosos.

Para poder obtener las medidas de las frecuencias de excitación ideales, fue necesario primero conectar un circuito específicamente hecho para hacer un barrido de frecuencias desde los 20kHz hasta los dos 2MHz. El funcionamiento del circuito no se puede describir a fondo debido a que los diagramas eléctricos y funcionamiento es confidencial.

En la Figura 249 , se aprecian las conexiones del circuito encargado de barrer las diferentes frecuencias así como el software encargado de controlarlo.



Figura 249. Conexión del circuito de barrido en frecuencias con el transductor, el software controlador y el osciloscopio

Se procedió iniciar las diferentes mediciones de las frecuencias de resonancias y amplitudes del eco en 20kHz hasta llegar a 2MHz, con un paso de 55kHz. Las gráficas nos dirán cuáles son las frecuencias óptimas de resonancia de este transductor.

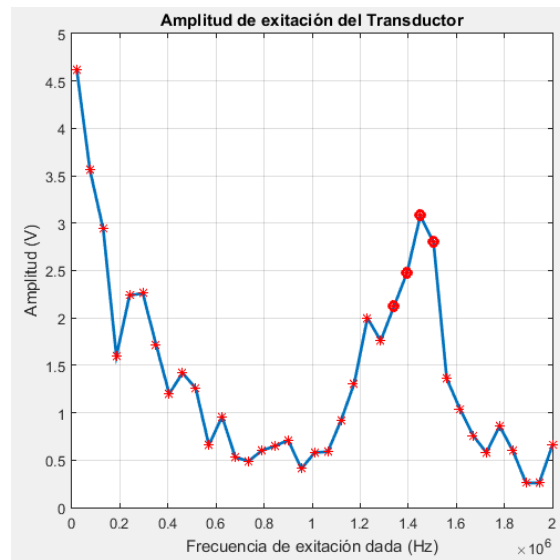


Figura 250. Amplitud de excitación del transductor

Como se aprecia en la Figura 250, la amplitud óptima llega a 3.08 V con una frecuencia de excitación de 1.45MHz, pero podemos notar que en frecuencias menores y una mayor aun la amplitud es considerablemente buena, esto lo comprobamos con la Figura 251, en donde se muestra una tabla de frecuencia de excitación contra la frecuencia de resonancia del primero eco. Podemos ver que valores de 1.34MHz a 1.505MHz tenemos casi un cuadro perfecto, otra forma de identificar cuál es la frecuencia de resonancia ideal, es que la frecuencia de resonancia debe ser aproximadamente igual a la frecuencia de excitación dada. Estos cuatro valores que se aprecian son aproximadamente iguales.

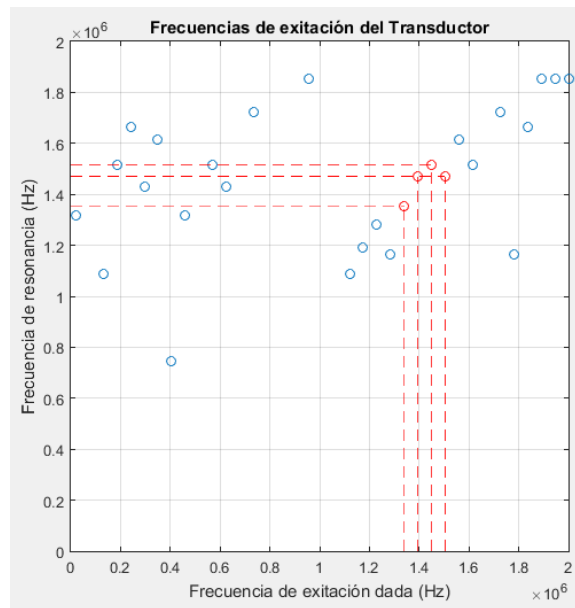


Figura 251. Frecuencias de excitación del Transductor

Si medimos frecuencias menores a 1MHz, la señal es inestable y difícilmente medible como se muestra en la Figura 252, aquí se muestra la señal de trigger excitado con un pulso a 20kHz, y como observamos la señal del eco, es difícilmente medible su frecuencia de resonancia. En esta figura se presenta la señal original y la señal amplificada.

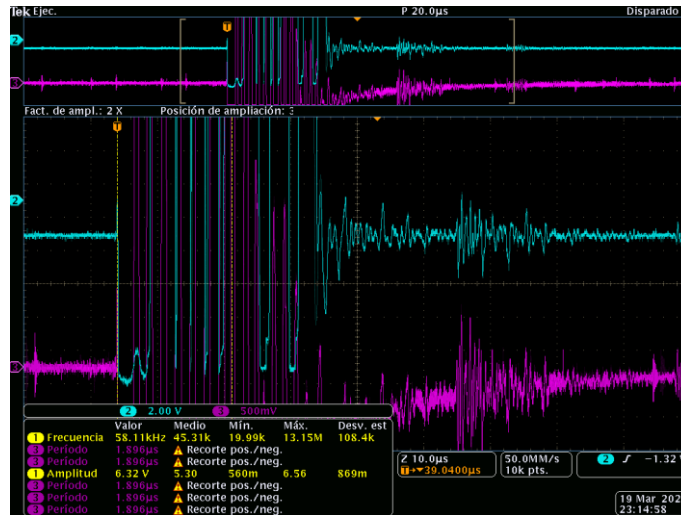


Figura 252. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 20kHz

Si excitamos el transductor con una frecuencia alta como de 2MHz, obtenemos la señal de Figura 253, en donde casi es imperceptible la señal del eco, por lo tanto, es difícil medir su amplitud porque se confunde con el ruido y la frecuencia de resonancia. Aquí solo se muestra la señal original.

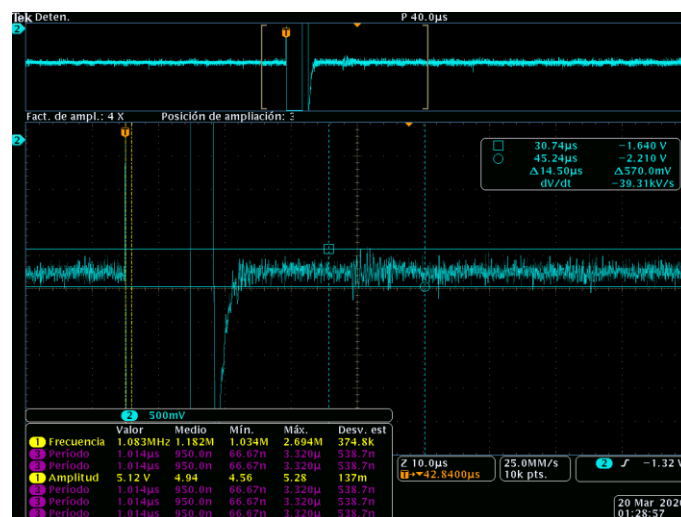


Figura 253. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 2MHz

Si excitamos el transductor con cinco pulsos y con la frecuencia que nos da mayor amplitud, de acuerdo a la gráfica es de 1.45MHz. Esta señal se puede apreciar en la Figura 254,

observamos que la señal del primer eco es apreciable y medible, tanto su amplitud como su frecuencia de resonancia.

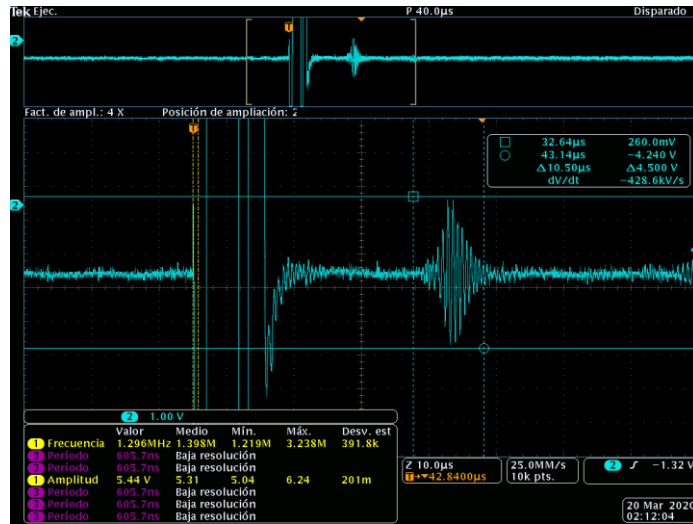


Figura 254. Frecuencia de resonancia del primer eco en el osciloscopio a 1.45MHz

7.4 Código del proceso

```
* Creado por José Fernando Caudillo Santos
y Ali Villegas Aquino
* Usuario: WIN8.1
* Fecha: 01/12/2020
* Hora: 1:00 p. m.
* Última versión: Versión 15
*
* Cuerpo Principal del microcontrolador
para la comunicación con la PC.
* Pocisiona de manera correcta el
revolver de fuentes de luz, mueve los
mecanismos y realiza las lecturas
del modo individual
*
*/

//Librerías utilizadas
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "Adafruit_VEML6070.h"
#include "SparkFun_AS7265X.h"

//Declaración de Variables a Usar en
Puerto Serial
int NoMuestra, PromMed, NoLed, TipObt,
ValPot, TipAnalisis, BitLis, BitInt,
TodaLong;
float sumaI0=0, promedioI0=0,
ValorMedidoI0=0;
float sumaI1=0, promedioI1=0,
ValorMedidoI1=0;
float sumaI2=1, promedioI2=1,
ValorMedidoI2=1;

//Variable de fin de calibración
int FinCalib=0;

//Motores a pasos
#define EN 36 /* Enable pin for all
stepper outputs */
#define X_DIR 35 //X Motor a pasos del
mecanismo
#define X_STEP 34
#define Y_DIR 33 //Y Motor a pasos del
revolver
#define Y_STEP 32
#define ABORT A6 /* Abort input pin */
#define HOLD1 A3 /* Hold input pin */
#define RESUME A2 /* Resume input pin */

//Pines para activar digitalmente a los
sensores
#define X_ENDSTOP 38 // X para los
Sensores de Nefelometria
#define Y_ENDSTOP 37 // Y para los
Sensores de Turbidimetria

//Detector para leer la frecuencia del
obturador mecanico
#define DEC1 8 //Boton para el Motor a
pasos
//Detectores para definir el zero posicion
del Revolver y el Motor a pasos

#define DEC2 7 //Sensor de Herradura
Revolver

#define DEC3 2 //Boton para el Motor a
pasos

//Corrimiento de Leds
#define SER_Pin 30//SER_IN DATOS PIN
ATMEGA 17 PIN 74HC595 14

#define RCLK_Pin 29 //L_CLOCK LACH PIN
ATMEGA 16 PIN 74HC595 12
#define SRCLK_Pin 31 //CLOCK RELOJ PIN
ATMEGA 18 PIN 74HC595 11
int tiempo=50;

//Lámpara UV
const int lampara=41;

//Troceador Eléctrico
const int CSPin=3; //ChipSelect
const int tipo_sena=4; //Pin digital para
la seleccion del tipo de señal

int canal1=0; //Canal Pot 1
int canal2=1; //Canal Pot 2

//Servomotores y troceador mecánico
float pausa;//Pausa para los servomotores
int Servo1=9;//Turbidimetria
int Servo2=6;//Nefelometria
int motor=5;//Troceador Mecánico

//Variables para el contador de pasos del
revolver
int pasos_est, resta, i, a, bit_cont;
int pasos_ant=0;
int pasos_nue=0;
int cont=0;

//Variables para el contador de pasos del
mecanismo
int pasos_est2, resta2, i2, a2, bit_cont2;
int pasos_ant2=0;
int pasos_nue2=0;
int cont2; //Contador para posición del
mecanismo
int posicion=3; //P1=ESPECTRO(1),
P2=ESPECTRO(2), P3=SensorUV

//Variables para hacer el cambio entre
sensores e I2C
int sensores=0; //Variable para
seleccionar a los sensores: 1
AS7265X sensor; //Sensor Turbidimetria
Adafruit_VEML6070 uv =
Adafruit_VEML6070();

void setup() {
Serial.begin(9600);
SPI.begin();

//Motores a pasos
pinMode(EN, OUTPUT);
pinMode(X_DIR, OUTPUT);
pinMode(X_STEP, OUTPUT);
pinMode(Y_DIR, OUTPUT);
pinMode(Y_STEP, OUTPUT);
pinMode(ABORT, INPUT_PULLUP);
pinMode(HOLD1, INPUT_PULLUP);
```

Capítulo 7: Anexos

```
pinMode(RESUME, INPUT_PULLUP);
digitalWrite(EN, LOW); //Low to enable

//Pines para activar digitalmente a los
sensores
pinMode(X_ENDSTOP, OUTPUT);
pinMode(Y_ENDSTOP, OUTPUT);

//Detectores para definir el zero
posicion
pinMode(DEC2, INPUT_PULLUP);
pinMode(DEC3, INPUT_PULLUP);

//Troceador Eléctrico
pinMode(CSPin, OUTPUT);
pinMode(tipo_sena, OUTPUT);

//Servomotores y troceador mecánico
pinMode(Servo1,OUTPUT);
pinMode(Servo2,OUTPUT);
pinMode(motor, OUTPUT);

//Corrimiento de leds
pinMode(SER_Pin,OUTPUT);
pinMode(RCLK_Pin,OUTPUT);
pinMode(SRCLK_Pin,OUTPUT);

//Lampara UV
pinMode(lampara, OUTPUT);

//Apagar elementos de la maquina
digitalWrite(motor, LOW); //Apagar
motor troceador
ApagLed(); //Apagar
revolver de fuentes de luz
digitalWrite(lampara, LOW); //Apagar
lámpara

//Habilitación sensores de turbidimetría
S2
//digitalWrite(X_ENDSTOP, LOW);
//digitalWrite(Y_ENDSTOP, HIGH);
//Encender sensores
Init_Espectro(); //Inicialización del
Espectrofotometro
uv.begin(VEML6070_1_T); //Inicialización
del sensor UV
}

void loop() {

}

//-----INICIO DE LA CALIBRACIÓN-----
//-----PASO 2-----
void InicioCalibracion()
{

  UbicarDireccionRevolver(); //Ubica la
dirección del revolver de Fuentes de Luz
  UbicarDireccionMecanismo(); //Ubica la
dirección del mecanismo de los sensores
  //PruebaMotorTroceador(); //Prueba
del giro del motor troceador
  PruebaServos(); //Prueba del
movimiento de los servomotores

  //Prueba Leds
  Troceador_Electrico(1,20);
  for (int i = 3; i <= 24; i++){
    encender_led(i);
    delay(5);
  }
  //delay(4000); //ELIMINAR DELAY
  FinCalib = 1;
  // Envía secuencia de que el sistema se
  encuentra Listo
  EnviarSecListo();
}
//-----Ubicar Posición cero
del Mecanismo-----
void UbicarDireccionMecanismo(){
  //Dirección del motor a pasos
  //Sentido Antihorario para descender y
horario para ascender
  digitalWrite(X_DIR, HIGH); //Descender
  while(digitalRead(DEC3)==1){
    girarMecanismo();
    cont2=0;
  }
}
//-----Giro del Mecanismo----
void girarMecanismo(){
  digitalWrite(X_STEP,HIGH);
  delay(1);
  digitalWrite(X_STEP,LOW);
  delay(1);
}
//-----Ubicar Posición cero
del Revolver-----
void UbicarDireccionRevolver(){
  /*Dirección del motor a pasos*/
  digitalWrite(Y_DIR, LOW); //Giro Derecha
  while(digitalRead(DEC2)==1){
    girarRevolver();
    cont=0;
  }
}
//-----Girar Revolver-----
void girarRevolver(){
  digitalWrite(Y_STEP,HIGH);
  delay(10);
  digitalWrite(Y_STEP,LOW);
  delay(10);
}
//-----Prueba de motor
troceador-----
void PruebaMotorTroceador(){
  for (int i = 0; i < 255; i++){
    analogWrite(motor, i);
    delay(15);
  }
  for (int i = 255; i > 0; i--){
    analogWrite(motor, i);
    delay(15);
  }
}
//-----Prueba del giro de los servos-----
void PruebaServos(){
  //Sensor 1
  mover_servo(Servo1, 130); //Nefelometria
  mover_servo(Servo2, 120);
  //Turbidimetria
  //Sensor 2
  mover_servo(Servo1, 15); //Nefelometria
  mover_servo(Servo2, 0); //Turbidimetria
  //Sensor 3
  mover_servo(Servo1, 240); //Nefelometria
```

Capítulo 7: Anexos

```
mover_servo(Servo2, 220);
//Turbidimetria
}

//*****MODULO PARA POSICIONAR
MECANISMO*****
void posicion_sensor(int posicion){
    switch(posicion){
        case 1:
            pasos_nue2=285;
            break;
        case 2:
            pasos_nue2=1057;
            break;
        case 3:
            pasos_nue2=2387;
            break;
        default:
            pasos_nue2=0;
            break;
    }
    resta2=pasos_nue2-pasos_ant2;
    if(resta2>0){
        bit_cont2=1;
        digitalWrite(X_DIR, LOW); //ASCENDER
    }
    else{
        bit_cont2=0;
        digitalWrite(X_DIR, HIGH); //DESCENDER
    }

    for(i2 = 0; i2 < abs(resta2); i2++){
        girarMecanismo();
        if(bit_cont2 == 0){
            cont2--;
        }
        else{
            cont2++;
        }
    }
    pasos_ant2 = cont2;
}

//*****MODULO PARA
POSICIONAR LEDS*****
void posicion_led(int led){
    pasos_nue=16*(led-1);
    resta=pasos_nue-pasos_ant;
    if(resta > 0){
        bit_cont=1;
        digitalWrite(Y_DIR, HIGH); //Giro
Izquierda
    }
    else{
        bit_cont=0;
        digitalWrite(Y_DIR, LOW); //Giro
Derecha
    }

    for(i = 0; i < abs(resta); i++){
        girarRevolver();
        if(bit_cont == 0){
            cont--;
        }
        else{
            cont++;
        }
    }
    pasos_ant = cont;
}

}

//*****MODULO PARA
ENCENDER Y APAGAR UN LED*****
void encender_led(int led)
{
    for (int i = 0; i <= 24; i++){
        if(i == 24-led+1){
            digitalWrite(SER_Pin, HIGH);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
            delay(tiempo);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
        }
        else{
            digitalWrite(SER_Pin, LOW);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
            delay(tiempo);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
        }
    }
    digitalWrite(RCLK_Pin, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(RCLK_Pin, LOW);
    delay(tiempo);
}

void apagar_led(){
    for (int i = 0; i <= 24; i++){
        digitalWrite(SER_Pin, LOW);
        digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
        delay(tiempo);
        digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
    }
    digitalWrite(RCLK_Pin, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(RCLK_Pin, LOW);
    delay(tiempo);
}

//*****MODULO PARA
ENCENDER Y APAGAR LA
LAMPARA*****
void encender_lamp(){
    digitalWrite(lampara, HIGH);
    delay(2000);
}

void apagar_lamp(){
    digitalWrite(lampara, LOW);
}

//*****MODULO PARA
POSICIONAR LOS SERVOMOTORES*****
void mover_servo(int NoServo, int angulo)
{
    for(int i=0; i<50; i++){
        pausa=(angulo*1000/180) + 1000;
        digitalWrite(NoServo, HIGH);
        delayMicroseconds(pausa);
        digitalWrite(NoServo, LOW);
        delayMicroseconds(20000-pausa);
    }
}

//-----
-----ENVIO DE LA SECUENCIA DE LISTO-----
-----
-----PASO 3-----
-----
```

Capítulo 7: Anexos

```
void EnviarSecListo()
{
    if (BitLis == 1 && FinCalib == 1)
    {
        delay(1000); //QUITAR ESTE DELAY
        Serial.println("M2N4O6P8Q10");
    }
    //Envia a la PC que esta Listo
    // M = Número de muestra
    // N = Intensidad Luminica (I)
    // O = Bit de Tipo de Intensidad (I1
- 1, IO = 0)
    // P = Bit de listo
    }
}

void TomaMuestras(int NoMuestra, int
PromMed, int led)
{
    for (int a = 1; a<= NoMuestra; a++)
    {
        for (int e = 1; e<= PromMed; e++)
        {
            if (BitInt == 0)
            {
                //Lectura del valor Io
                ValorMedidoI0=sensor_turb(led);
                sumaI0=sumaI0+ValorMedidoI0;
            }

            if (BitInt == 1)
            {
                //Lectura con probeta
                //Lectura de valor I1
                ValorMedidoI1=sensor_turb(led);
                sumaI1=sumaI1+ValorMedidoI1;

                //FALTA AGREGAR SENSORES DE
NEFELOMETRIA
                //Lectura de valor I2
                sumaI2=sumaI2+ValorMedidoI2;
            }
        }

        if (BitInt == 0)
        {
            delay(1000);
            //Envio de los valores por puerto
serial a la PC
            // Avisar del bit de ingreso de la
muestra
            promedioI0=sumaI0/PromMed;
            EnvioSerial(a, promedioI0, 0, 1,
0);
        }

        if (BitInt == 1)
        {
            delay(1000);
            //Envio de los valores por puerto
serial a la PC
            //Lectura del valor I1
            promedioI1=sumaI1/PromMed;
            EnvioSerial(a, promedioI1, 1, 1,
0);

            delay(1000);
            //Lectura del valor I2
            promedioI2=sumaI2/PromMed;
            EnvioSerial(a, promedioI2, 2, 1,
0);
        }

        sumaI0=0;
        sumaI1=0;
        sumaI2=0;
    }
}

//*****MODULO PARA
LECTURA LOS SENSORES*****
float sensor_turb(int led){
    char canal;
    float valor;
    canal=lista_canales(led);
    //Posicionamiento del mecanismo en el
sensor
    selec_canal(canal);
    //Habilitación sensores de turbidimetría
S2
    //digitalWrite(X_ENDSTOP, LOW);
    //digitalWrite(Y_ENDSTOP, HIGH);
    //Posicionamiento del revolver en el led
ConfigFuente(led);

    valor=lectura_sensores(canal);

    delay(200);
    ApagLed();
    delay(1000);

    return valor;
}

float sensor_nefe(int led){
    char canal;
    float valor;
    canal=lista_canales(led);
    //Posicionamiento del mecanismo en el
sensor
    selec_canal(canal);
    //Habilitación sensores de nefelometria
S1
    //digitalWrite(X_ENDSTOP, HIGH);
    //digitalWrite(Y_ENDSTOP, LOW);

    valor=lectura_sensores(canal);
    delay(200);
    ApagLed();
    delay(1000);
    return valor;
}

//*****MODULO PARA
POSICIONAR LOS
SERVOMOTORES*****
void selec_canal(char canal)
{
    if(canal == 'R' || canal == 'S' || canal
== 'T' || canal == 'U' || canal == 'V'
||canal == 'W'){
        //Sensor en Posicion 1
        posicion_sensor(1);
        delay(1000);
        mover_servo(Servo1, 130);
    }
    //Nefelometria
    mover_servo(Servo2, 120);
    //Turbidimetria
    }

    if(canal == 'G' || canal == 'H' || canal
== 'I' || canal == 'J' || canal == 'K'
||canal == 'L'){
        //Sensor en Posicion 2
```

Capítulo 7: Anexos

```
    posicion_sensor(2);
    delay(1000);
    mover_servo(Servo1, 15);
//Nefelometria
    mover_servo(Servo2, 0);
//Turbidimetria
}

    if(canal == 'A' || canal == 'B' || canal
== 'C' || canal == 'D' || canal == 'E'
||canal == 'F'){
    //Sensor en Posicion 2
    posicion_sensor(2);
    delay(1000);
    mover_servo(Servo1, 240);
//Nefelometria
    mover_servo(Servo2, 220);
//Turbidimetria
}
    if(canal == 'X'){
    posicion_sensor(3);
    delay(1000);
}
}

float lectura_sensores(char canal){
    float lectura;
    delay(1000); //Tiempo de estabilizacion
    //Serial.println("Iniciando Sensores");
    //Init_Espectro(); //Inicialización del
Espectrofotometro
    //uv.begin(VEML6070_1_T);
//Inicialización del sensor UV
    //Serial.println("Midiendo");
    sensor.takeMeasurements(); //Lectura de
todos los canales del espectrofotometro
    switch(canal){
        case 'A':
            lectura=sensor.getCalibratedA();
            break;
        case 'B':
            lectura=sensor.getCalibratedB();
            break;
        case 'C':
            lectura=sensor.getCalibratedC();
            break;
        case 'D':
            lectura=sensor.getCalibratedD();
            break;
        case 'E':
            lectura=sensor.getCalibratedE();
            break;
        case 'F':
            lectura=sensor.getCalibratedF();
            break;
        case 'G':
            lectura=sensor.getCalibratedG();
            break;
        case 'H':
            lectura=sensor.getCalibratedH();
            break;
        case 'I':
            lectura=sensor.getCalibratedI();
            break;
        case 'J':
            lectura=sensor.getCalibratedJ();
            break;
        case 'K':
            lectura=sensor.getCalibratedK();
            break;
        case 'L':
            lectura=sensor.getCalibratedL();
            break;
        case 'R':
            lectura=sensor.getCalibratedR();
            break;
        case 'S':
            lectura=sensor.getCalibratedS();
            break;
        case 'T':
            lectura=sensor.getCalibratedT();
            break;
        case 'U':
            lectura=sensor.getCalibratedU();
            break;
        case 'V':
            lectura=sensor.getCalibratedV();
            break;
        case 'W':
            lectura=sensor.getCalibratedW();
            break;
        //Sensor UV
        case 'X':
            lectura=uv.readUV();
            break;
        default:
            lectura=0;
            break;
    }
    delay(500);

    return lectura;
}

void Init_Espectro(){
    if(sensor.begin() == false){
        //Serial.println("Sensor does not
appear to be connected. Please check
wiring. Freezing...");
        Serial.println("M95N95095P95Q95");
        while(1);
    }
    sensor.disableIndicator();
}

//*****LISTA DE LOS CANALES
DE LOS LEDS*****
char lista_canales(int led){
    char canal_led;

    switch(led){
        // case 1: //Led UV SMD 265nm-285nm
        // canal_led='X';
        // break;
        // case 2: //Led UV SMD 278nm
        // canal_led='X';
        // break;
        case 3: //Led UV SMD 275nm-286nm
            canal_led='B';
            break;
        // case 4: //Led UV SMD 280-286nm
        // canal_led='X';
        // break;
        case 5: //Led UV SMD 365-370nm
            canal_led='X';
            break;
        case 6: //Led SMD UV 1W 375-380nm
            canal_led='X';
            break;
        case 7: //Led UV 1W 390nm-395nm
            canal_led='X';
            break;
    }
}
```

Capítulo 7: Anexos

```
    case 8: //Led DIP 5mm UV 400nm
        canal_led='X';
        break;
    case 9: //Led Violeta
        canal_led='B';
        break;
    case 10: //Led Rosa
        canal_led='G';
        break;
    case 11: //Led Naranja
        canal_led='R';
        break;
    case 12: //Led Amarillo
        canal_led='V';
        break;
    case 13: //Led Azul
        canal_led='E';
        break;
    case 14: //Led Verde
        canal_led='E';
        break;
    case 15: //Led Rojo
        canal_led='H';
        break;
// case 16: //Led Blanco
// canal_led='F';
// break;
    case 17: //Led IR SMD 850nm
        canal_led='V';
        break;
    case 18: //Led IR 875nm
        canal_led='V';
        break;
    case 19: //Led IR 940nm
        canal_led='W';
        break;
    case 20: //Led IR 950nm
        canal_led='L';
        break;
    case 25: //Lampara UV
        canal_led='X';
        break;
    default:
        canal_led='X';
        break;
}

return canal_led;
}

void ConfigFuente(int NoLed)
{
    PosLed(NoLed); //Mueve el Revolver de
    Fuentes de luz al Led No(n)
    EncLed(NoLed); //Enciende el led
    No(n)
    delay(500);
}

//*****MODULO PARA
//*****POSICIONAR LEDS*****

void PosLed(int led){
    pasos_nue=16*(led-1);
    resta=pasos_nue-pasos_ant;
    if(resta > 0){
        bit_cont=1;
        digitalWrite(Y_DIR, HIGH); //Giro
    Izquierda
    }
    else{
        bit_cont=0;
        digitalWrite(Y_DIR, LOW); //Giro
    Derecha
    }

    for(i = 0; i < abs(resta); i++){
        girarRevolver();
        if(bit_cont == 0){
            cont--;
        }
        else{
            cont++;
        }
    }
    pasos_ant = cont;
}

//*****MODULO PARA
//*****ENCENDER Y APAGAR UN LED*****
void EncLed(int led)
{
    for (int i = 0; i <= 24; i++){
        if(i == 24-led+1){
            digitalWrite(SER_Pin, HIGH);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
            delay(tiempo);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
        }
        else{
            digitalWrite(SER_Pin, LOW);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
            delay(tiempo);
            digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
        }
    }
    digitalWrite(RCLK_Pin, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(RCLK_Pin, LOW);
    delay(tiempo);
    if (led == 25)
    {
        encender_lamp();
        analogWrite(motor, 50);
        delay(5000);
    }
}

void ApagLed(){
    for (int i = 0; i <= 24; i++){
        digitalWrite(SER_Pin, LOW);
        digitalWrite(SRCLK_Pin, HIGH);
        delay(tiempo);
        digitalWrite(SRCLK_Pin, LOW);
    }
    digitalWrite(RCLK_Pin, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(RCLK_Pin, LOW);
    delay(tiempo);
    apagar_lamp();
    analogWrite(motor, 0);
}

void EnvioSerial(int NoMuestra, float
    IntLum, int BitTipInt, int BitLis, int
    BitIngMues)
{
    Serial.print("M");
    Serial.print(NoMuestra); //Numer
o de Muestra
    Serial.print("N");
}
```


Capítulo 7: Anexos

```
Serial.print(IntLum); //Envio
de la intensidad luminica
Serial.print("O");
Serial.print(BitTipInt); //Bit
de Tipo de Intensidad (0-I0 1-I1 2-I2)
Serial.print("P");
Serial.print(BitLis); //Bit de
Listo (1 - Listo)
Serial.print("Q");
Serial.println(BitIngMues); //Ingre
sar Muestra (1- Ingrese muestra 0- No
ingrese muestra)
}

//-----
ANALISIS INDIVIDUAL (UNA SOLA LONGITUD DE
ONDA)-----
//-----
-----PASO 4-----
-----
void AnalisisIndividual(int NoMuestra, int
PromMed, int NoLed)
{
    //ConfigFuente(NoLed);
    TomaMuestras(NoMuestra, PromMed,
NoLed);
}

//-----
ANALISIS AUTOMATICO (TODAS LAS LONGITUDES
DE ONDA)-----
//-----
-----PASO 5-----
-----
void AnalisisAutomatico(int NoMuestra, int
PromMed, int led)
{
    for(int i = 1; i <= 25; i++)
    {
        if (i != 1 && i != 2 && i != 4 && i !=
5 && i != 16 && i != 21 && i != 22 && i !=
23 && i != 24)
        {
            // Configura la posición del
revolver de leds y enciende el led
            //ConfigFuente(i);
            // Toma y envia las lecturas tomadas
de los sensores opticos
            for (int e = 1; e<= PromMed; e++)
            {
                if (BitInt == 0)
                {

                    //Lectura del valor Io
                    ValorMedidoI0=sensor_turb(i);
                    sumaI0=sumaI0+ValorMedidoI0;
                }

                if (BitInt == 1)
                {
                    //Lectura con probeta
                    //Lectura de valor I1
                    ValorMedidoI1=sensor_turb(i);
                    sumaI1=sumaI1+ValorMedidoI1;

                    //Lectura de valor I2
                    sumaI2=sumaI2+ValorMedidoI2;
                }
            }

            // Verifica cual es el dato de I que
se enviará
            if (BitInt == 0)
            {
                delay(1000);
                //Envio de los valores por puerto
serial a la PC
                // Avisar del bit de ingreso de la
muestra
                promedioI0=sumaI0/PromMed;
                EnvioSerial(i, promedioI0, 0, 1,
0);
            }

            if (BitInt == 1)
            {
                delay(1000);
                //Envio de los valores por puerto
serial a la PC
                //Lectura del valor I1
                promedioI1=sumaI1/PromMed;
                EnvioSerial(i, promedioI1, 1, 1,
0);
                delay(1000);
                //Lectura del valor I2
                promedioI2=sumaI2/PromMed;
                EnvioSerial(i, promedioI2, 2, 1,
0);
            }
            sumaI0=0;
            sumaI1=0;
            sumaI2=0;
        }
    }

//-----
--SECUENCIA PARA CONFIGURAR LA OBTURACIÓN
ELECTRICA-----
-----
void ConfigObt(int TipObt,int ValPot)
{
    Troceador_Electrico(TipObt,ValPot);
    //Configuración Tipo de Obturación
    //Configurar Frecuencia de Obturación

    //delay(1000); //QUITAR ESTE DELAY
}

//*****MODULO DEL
TROCEADOR ELÉCTRICO*****
void Troceador_Electrico(int senal,int
valpot){
    bool NueSenal;
    if(senal == 1)
        NueSenal=HIGH;
    else
        NueSenal=LOW;

    digitalWrite(tipo_sena, NueSenal);
    //enviar 0 para cuadrada y 1 para
constante
    envio_pot(canal1,valpot);
    envio_pot(canal2,valpot);
}

void envio_pot(int address, int value) {
    // take the SS pin low to select the
chip:
    digitalWrite(CSPin, LOW);
    delay(100);
}
```

Capítulo 7: Anexos

```
// send in the address and value via
SPI:
SPI.transfer(address);
SPI.transfer(value);
delay(100);
// take the SS pin high to de-select the
chip:
digitalWrite(CSPin, HIGH);
}

//-----
-----INTERRUPCIÓN POR PUERTO SERIAL-----
//-----
-----PASO 1-----
void serialEvent() {
// Interrupción por puerto Serial
// Esta es una función que se activa
por puerto serial

//Método para recibir datos por el
puerto serial
char buff[50];
int st=0;
String
r1="", r2="", r3="", r4="", r5="", r6="", r7="",
r8="", r9="", recibido;

while(Serial.available())
recibido =
Serial.readStringUntil('\n');
recibido.toCharArray(buff, 50);
for(int a=0; a<50; a++){
if(buff[a]=='\n')break;
if(buff[a]=='A' || buff[a]=='B' ||
buff[a]=='C' || buff[a]=='D' ||
buff[a]=='E' ||
buff[a]=='F' || buff[a]=='G' ||
buff[a]=='H' || buff[a]=='I' ||
buff[a]=='Z')st++;
else{
switch(st){
case 1:r1+=buff[a]; break;
case 2:r2+=buff[a]; break;
case 3:r3+=buff[a]; break;
case 4:r4+=buff[a]; break;
case 5:r5+=buff[a]; break;
case 6:r6+=buff[a]; break;
case 7:r7+=buff[a]; break;
case 8:r8+=buff[a]; break;
case 9:r9+=buff[a]; break;
}
}
}
//r1 es dato A = Número de
Muestras
//r2 es dato B = Promedio de
Medidas
//r3 es dato C = No. led
//r4 es dato D = Tipo de Obt (0
Cuadrada - 1 Continua)
//r5 es dato E = Valor del Pot
(Frecuencia de Obt)
//r6 es dato F = Tipo de Análisis
(1 Nefelo - 0 Acus)
//r7 es dato G = Bit de Listo (1
es listo)
//r7 es dato Z = Es el fin de la
Trama

//Transformación de variables de
String a Int
//Almacena los valores en las
variables
NoMuestra = r1.toInt(); //A
PromMed = r2.toInt(); //B
NoLed = r3.toInt(); //C
TipObt = r4.toInt(); //D
ValPot = r5.toInt(); //E
TipAnálisis = r6.toInt(); //F
BitLis = r7.toInt(); //G
BitInt = r8.toInt(); //H
TodaLong = r9.toInt(); //I

//Condicional para iniciar la
calibración mecánica del sistema
if(NoMuestra==0 && PromMed==0 &&
NoLed==0 && TipObt==0 && ValPot==0 &&
TipAnálisis==0 && BitInt==0 &&
TodaLong==0)
{
InicioCalibracion();
}

//Selección de Analisis Acustico
if (TipAnálisis == 0 && BitLis==1)
{
// Analisis Acustico
}

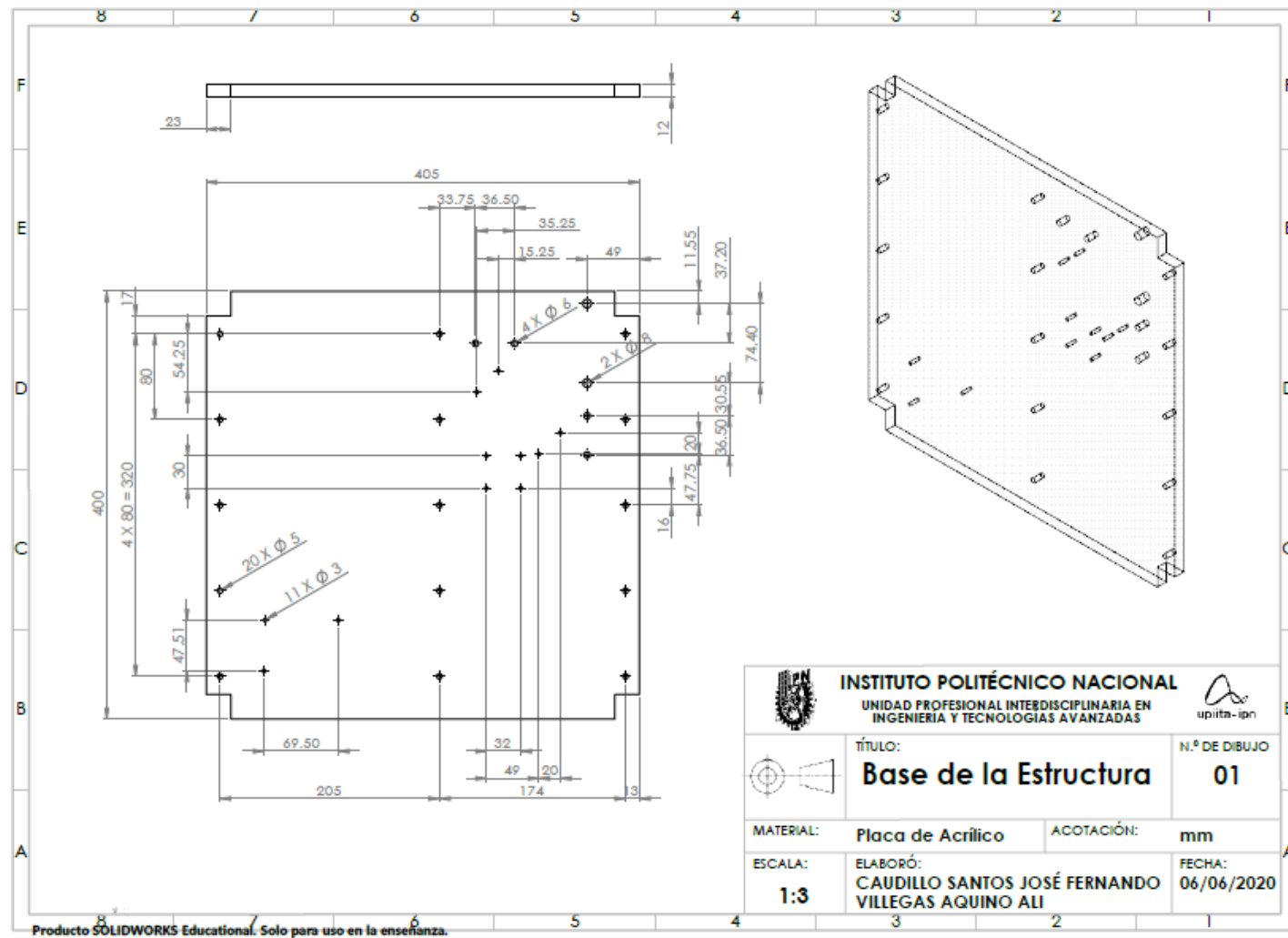
//Selección de Analisis
Nefelometrico
if (TipAnálisis == 1 && BitLis==1)
{
//Configuración del Tipo de
señal y frecuencia para las fuentes de luz
ConfigObt(TipObt, ValPot);

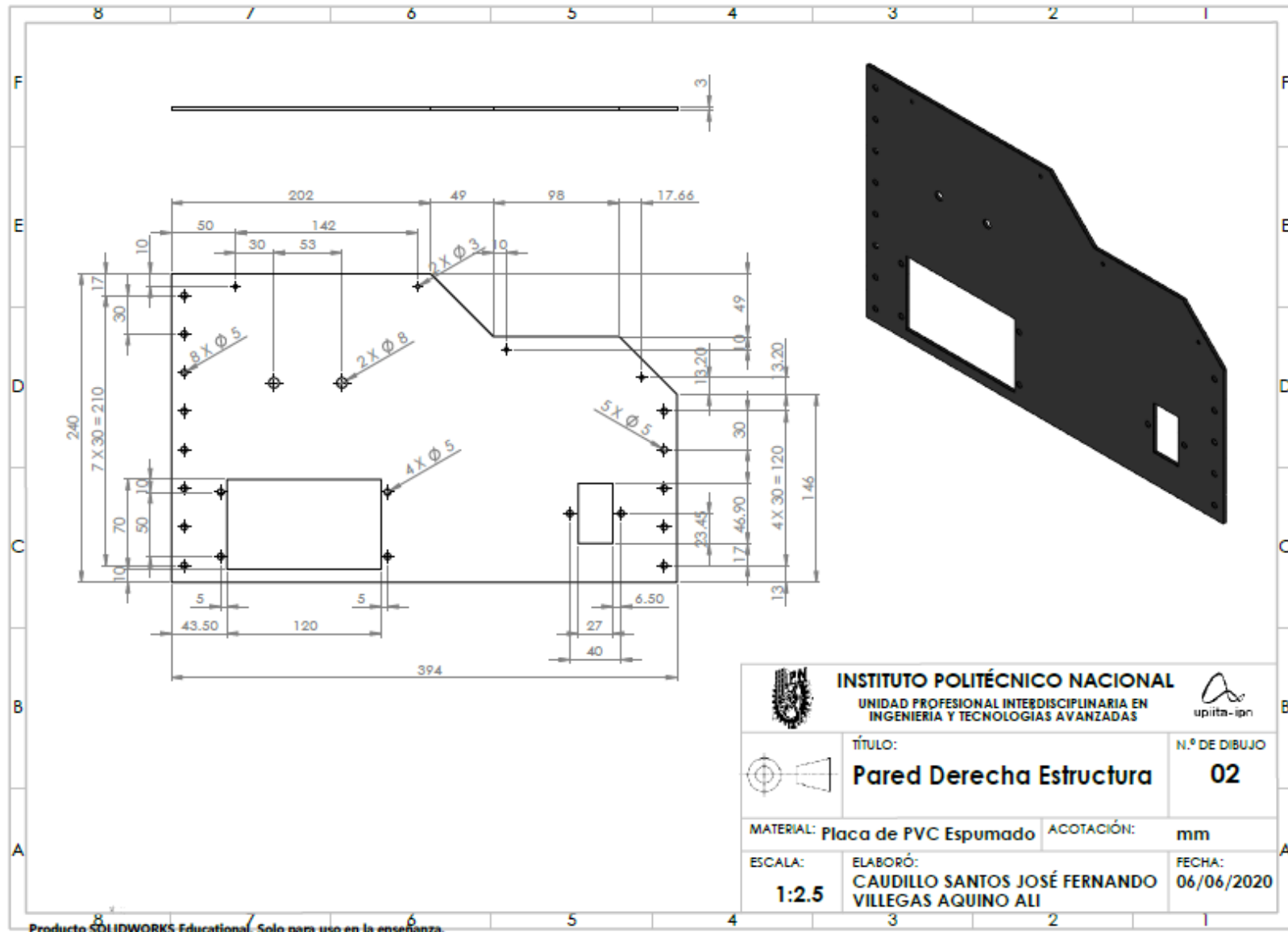
if (TodaLong == 1)
{
//Analisis Automatico de todas
las Fuentes de luz
AnalisisAutomatico(NoMuestra,
PromMed, NoLed);
}
else
{
//Analisis de una Fuente de
luz en Particular
AnalisisIndividual(NoMuestra,
PromMed, NoLed);
}

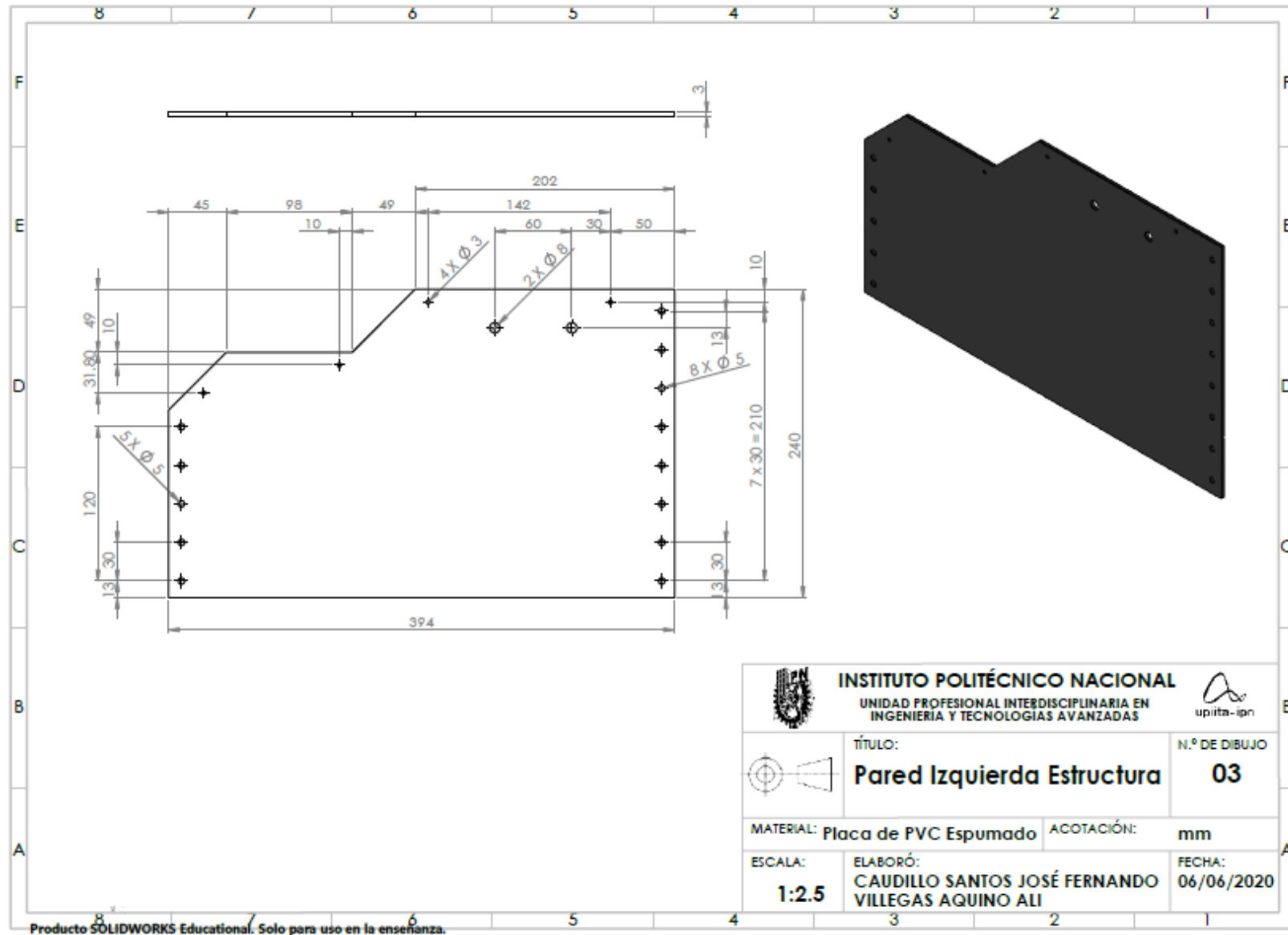
if (BitInt == 0)
{
//Aviso para que el usuario
ingrese la muestra
ApagLed();
EnvioSerial(0, 0, 4, 1, 1);
}

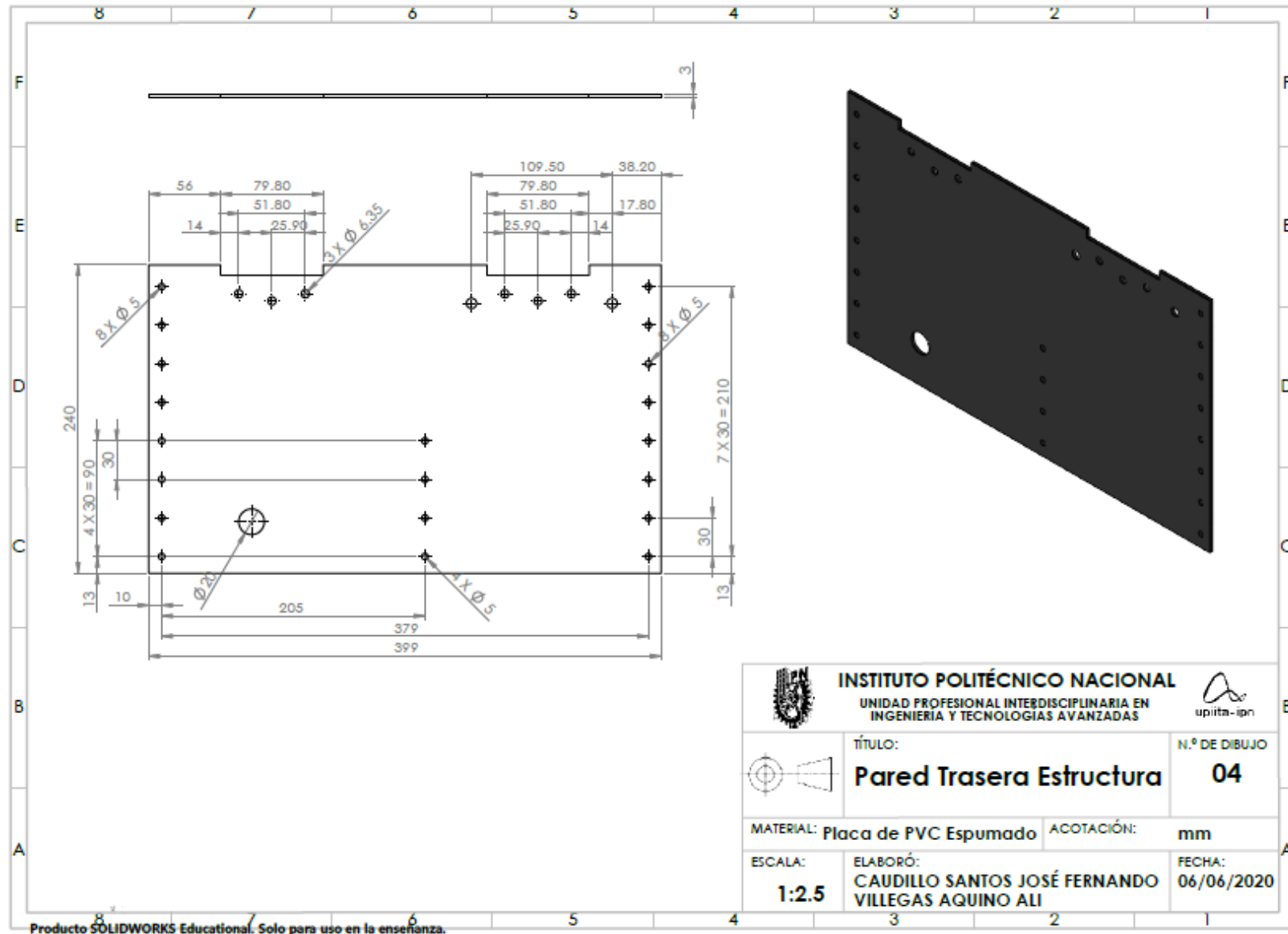
if (BitInt == 1)
{
//Aviso para ingresar las
muestras en el DATA GRID VIEW
ApagLed();
EnvioSerial(10, 10, 10, 10,
10);
}
}
```

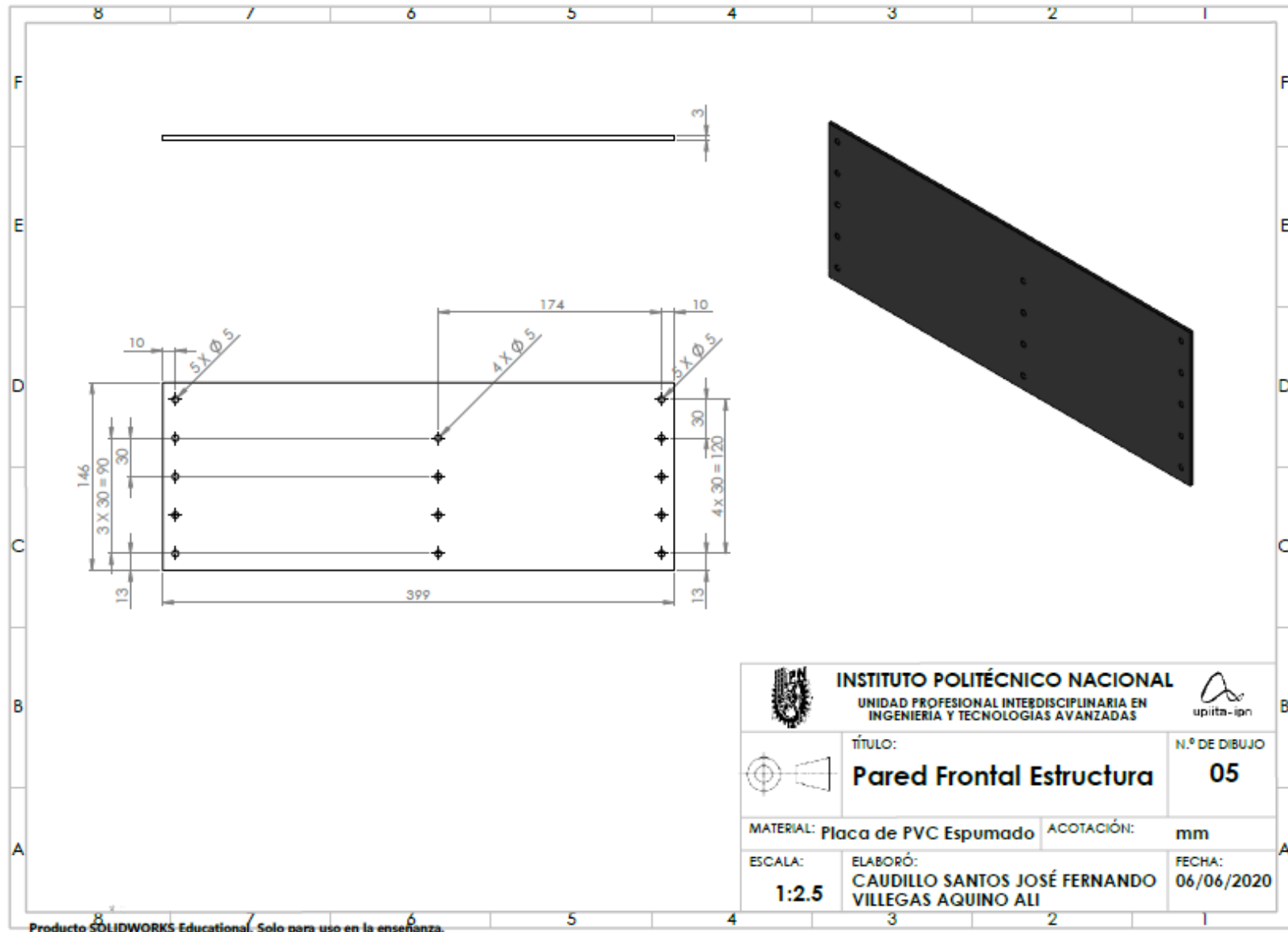
7.5 Planos

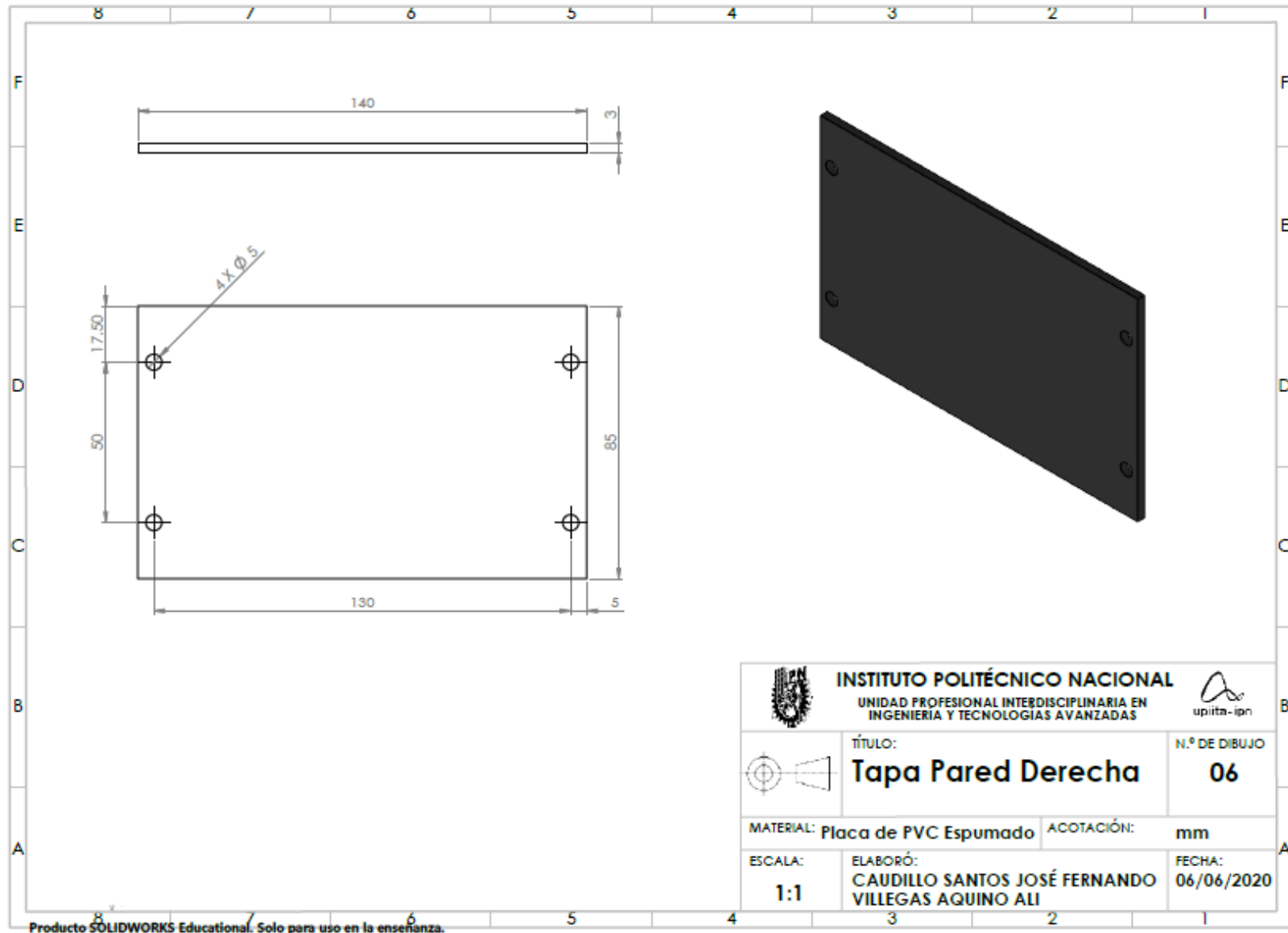






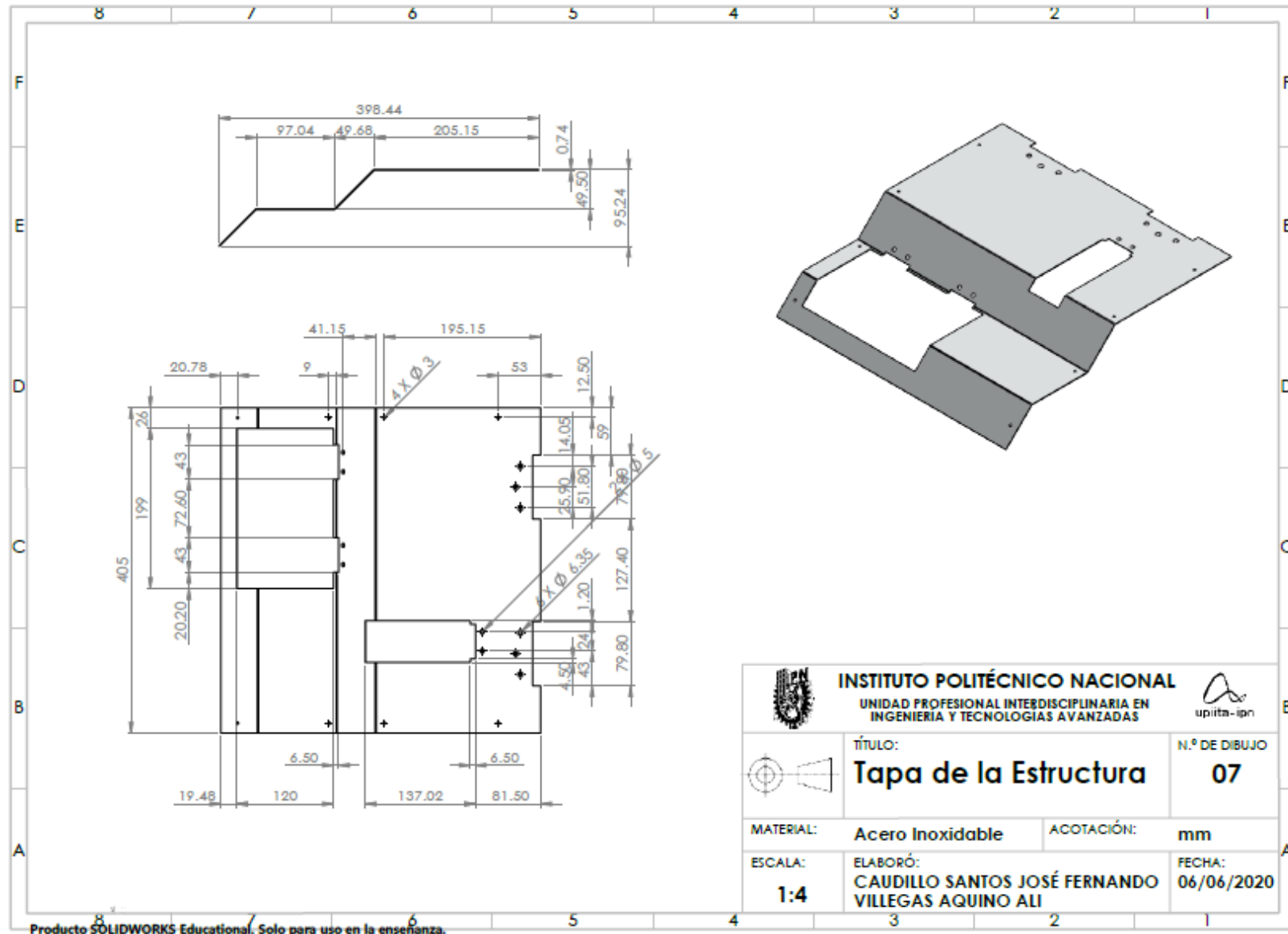


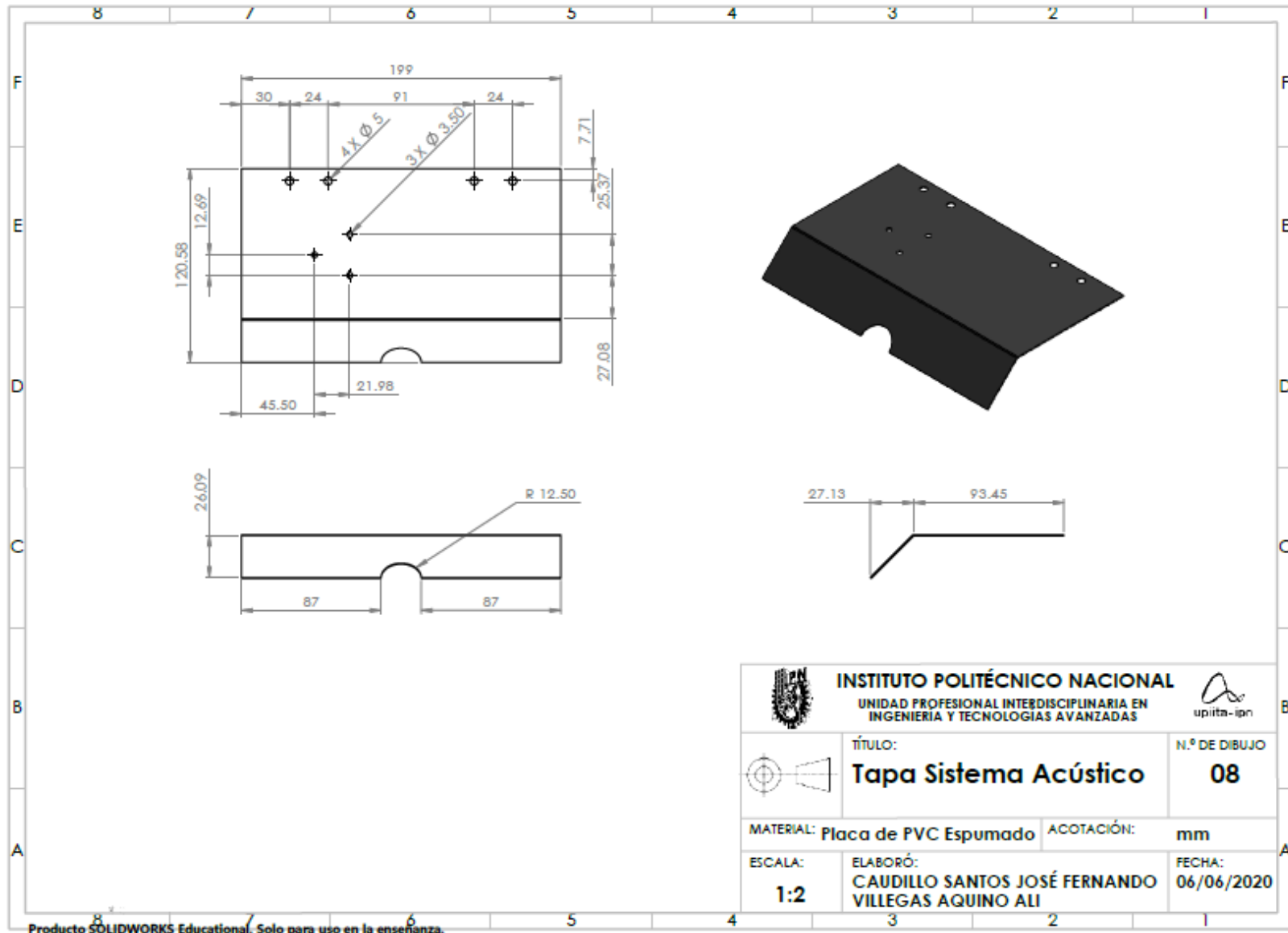




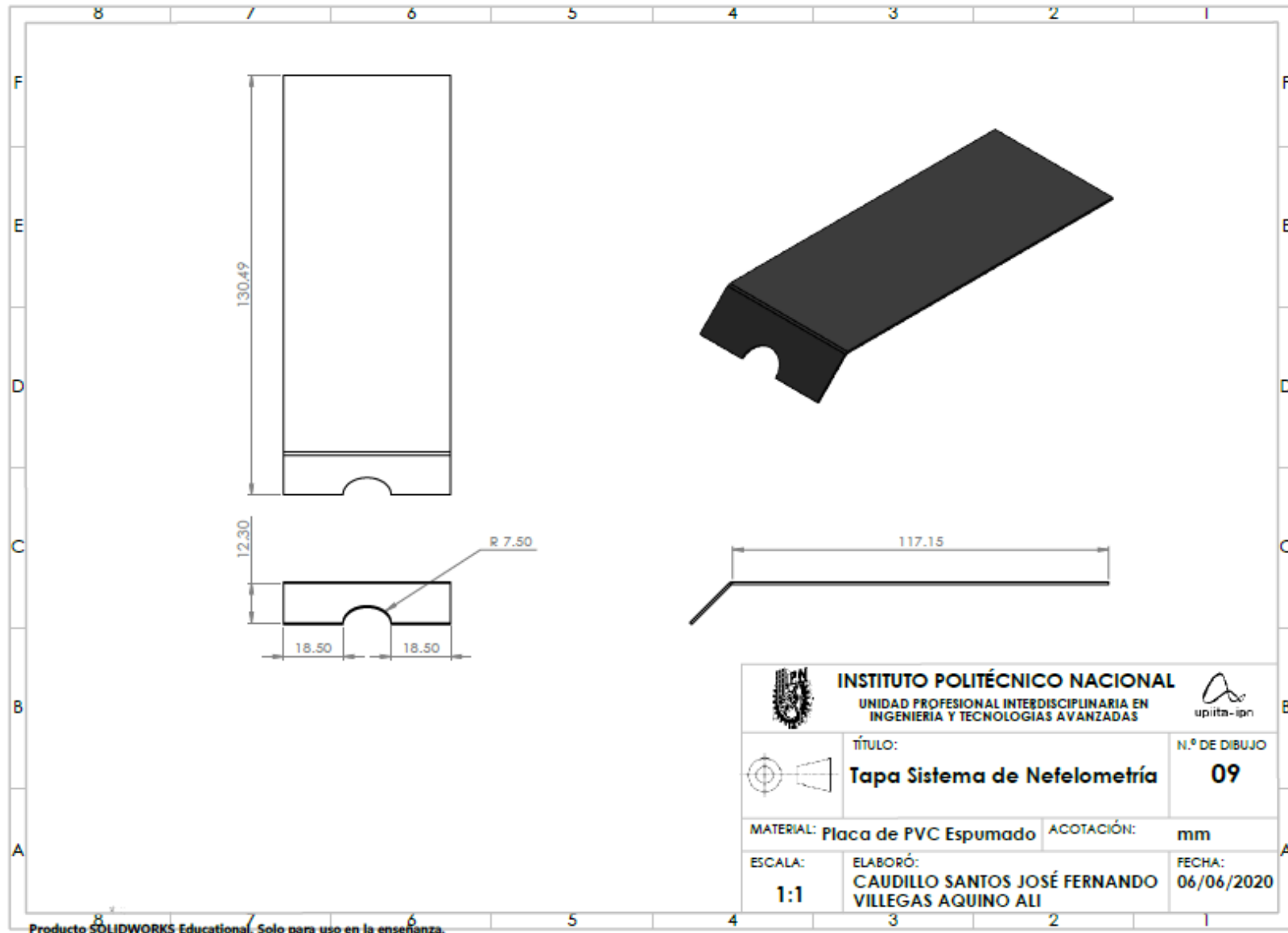
 INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERIA Y TECNOLOGIAS AVANZADAS		
	TÍTULO: Tapa Pared Derecha	N.º DE DIBUJO 06
MATERIAL: Placa de PVC Espumado	ACOTACIÓN: mm	
ESCALA: 1:1	ELABORÓ: CAUDILLO SANTOS JOSÉ FERNANDO VILLEGAS AQUINO ALI	FECHA: 06/06/2020

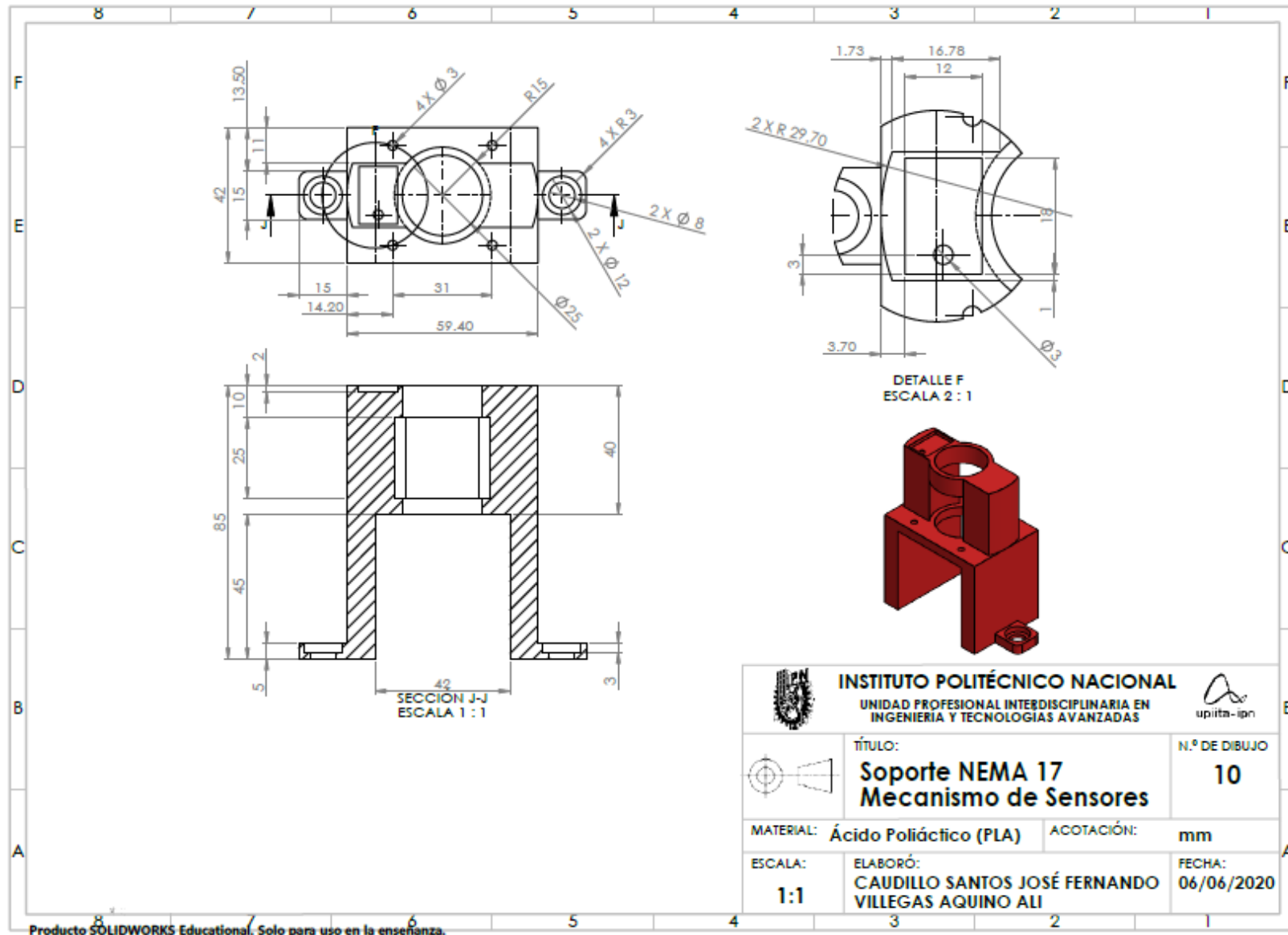
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

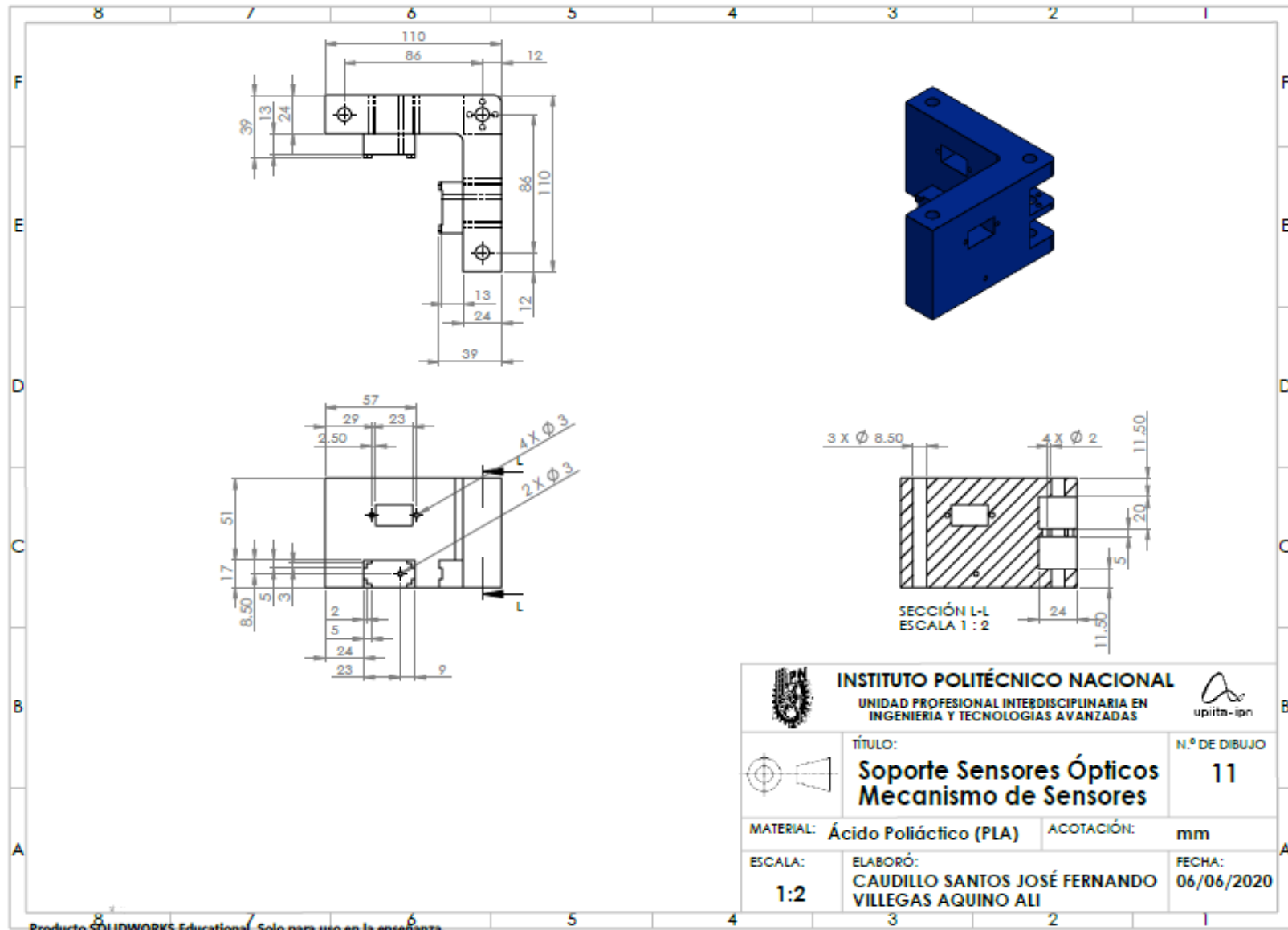


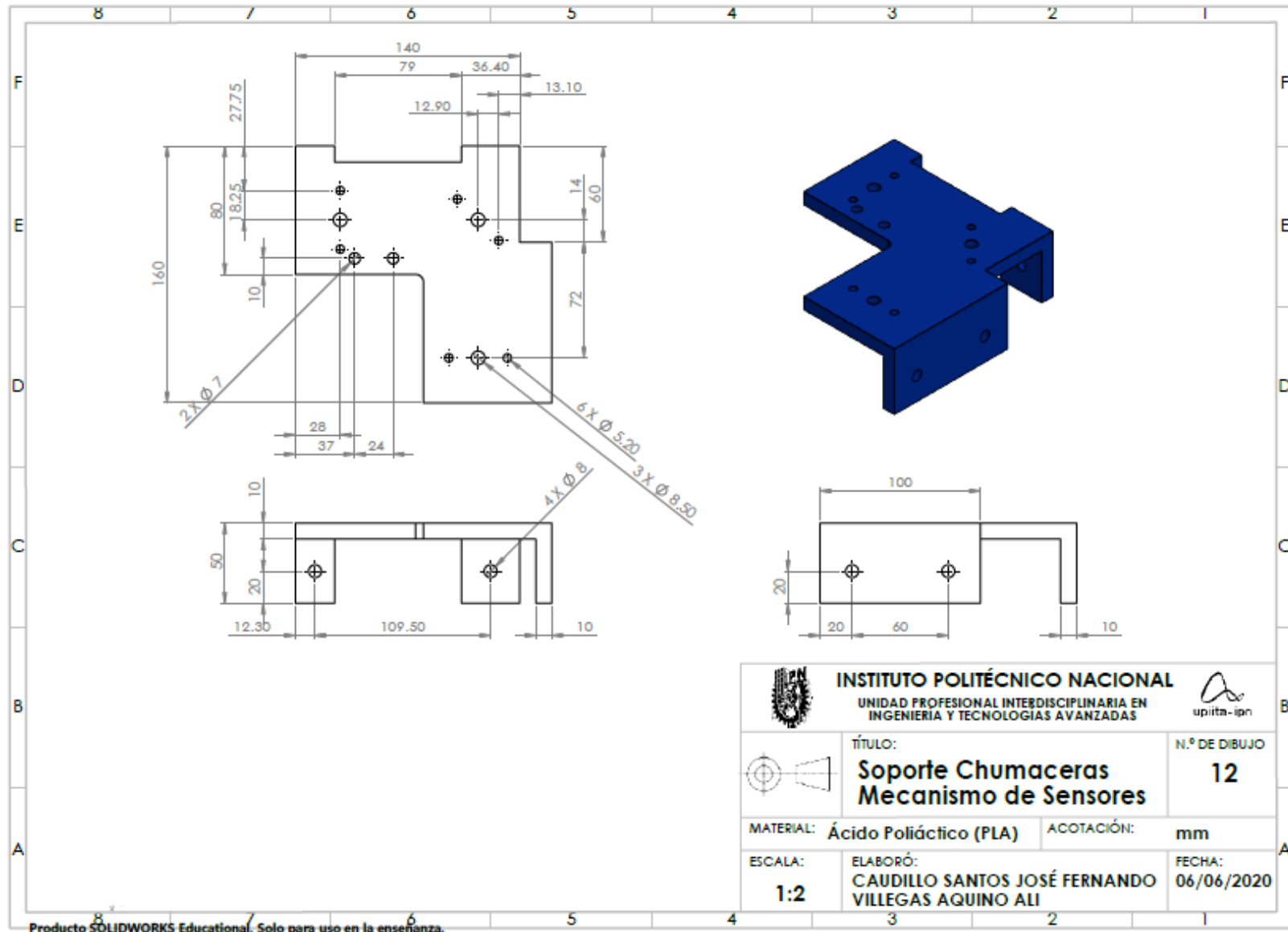


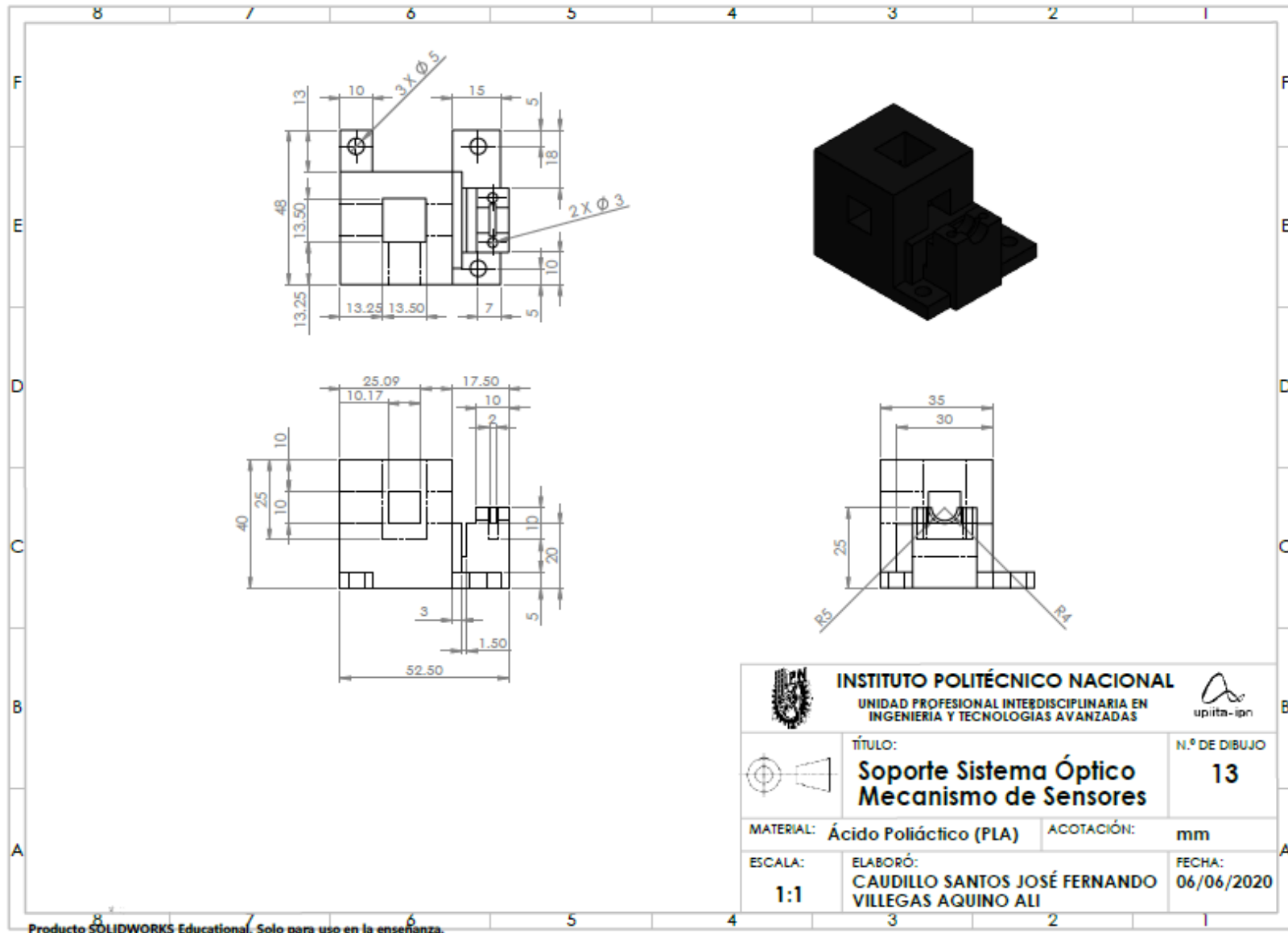
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



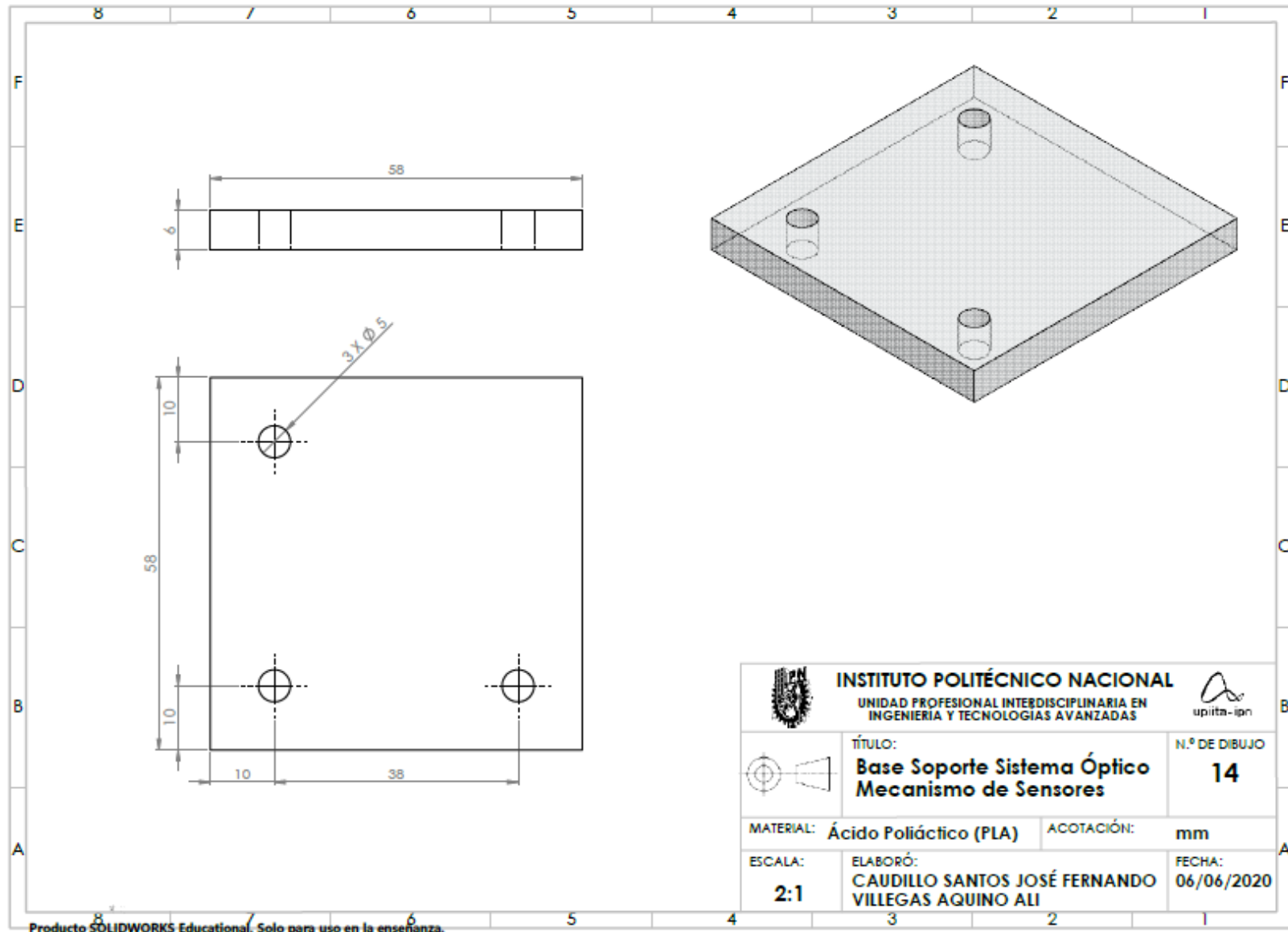


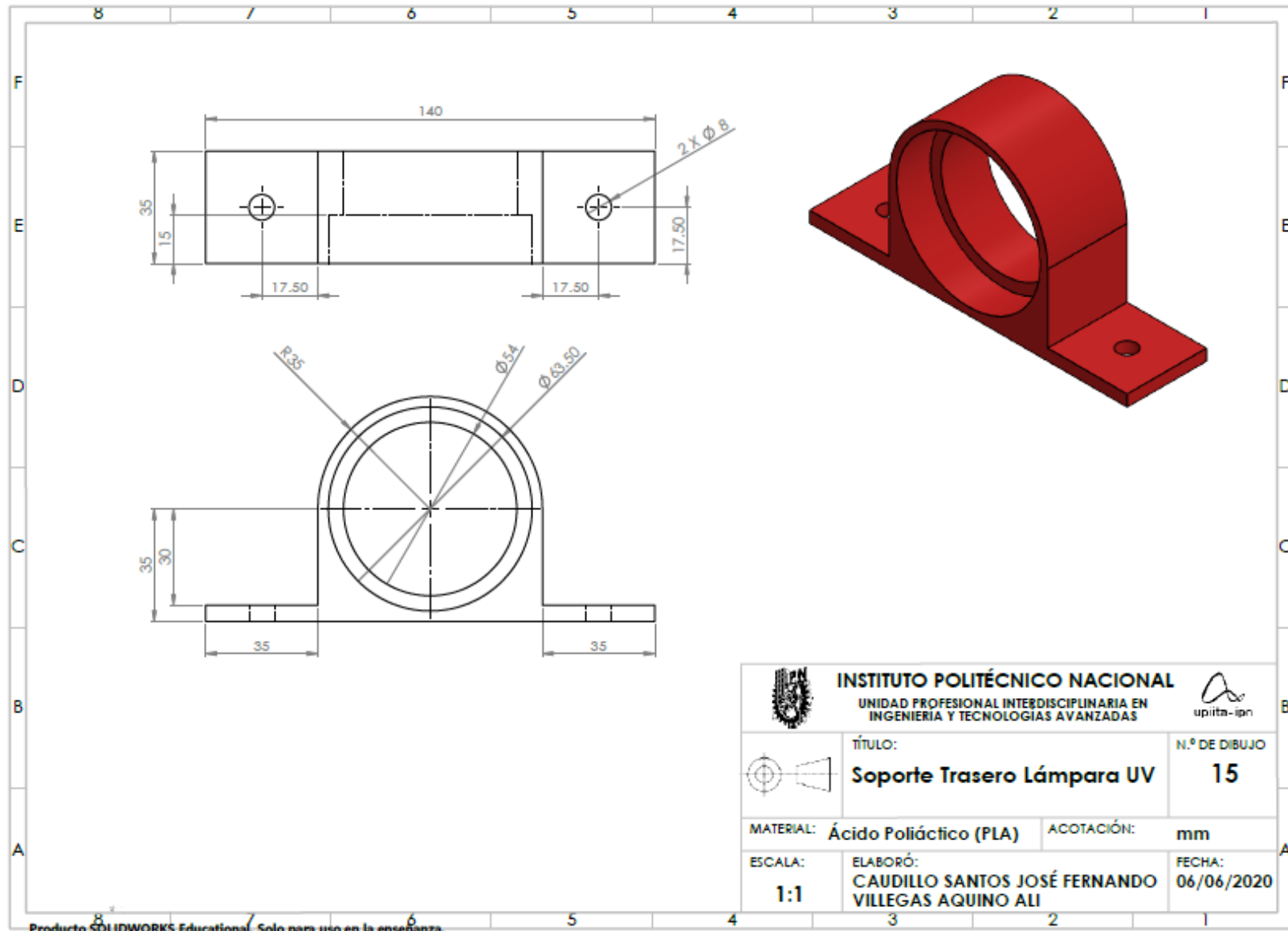


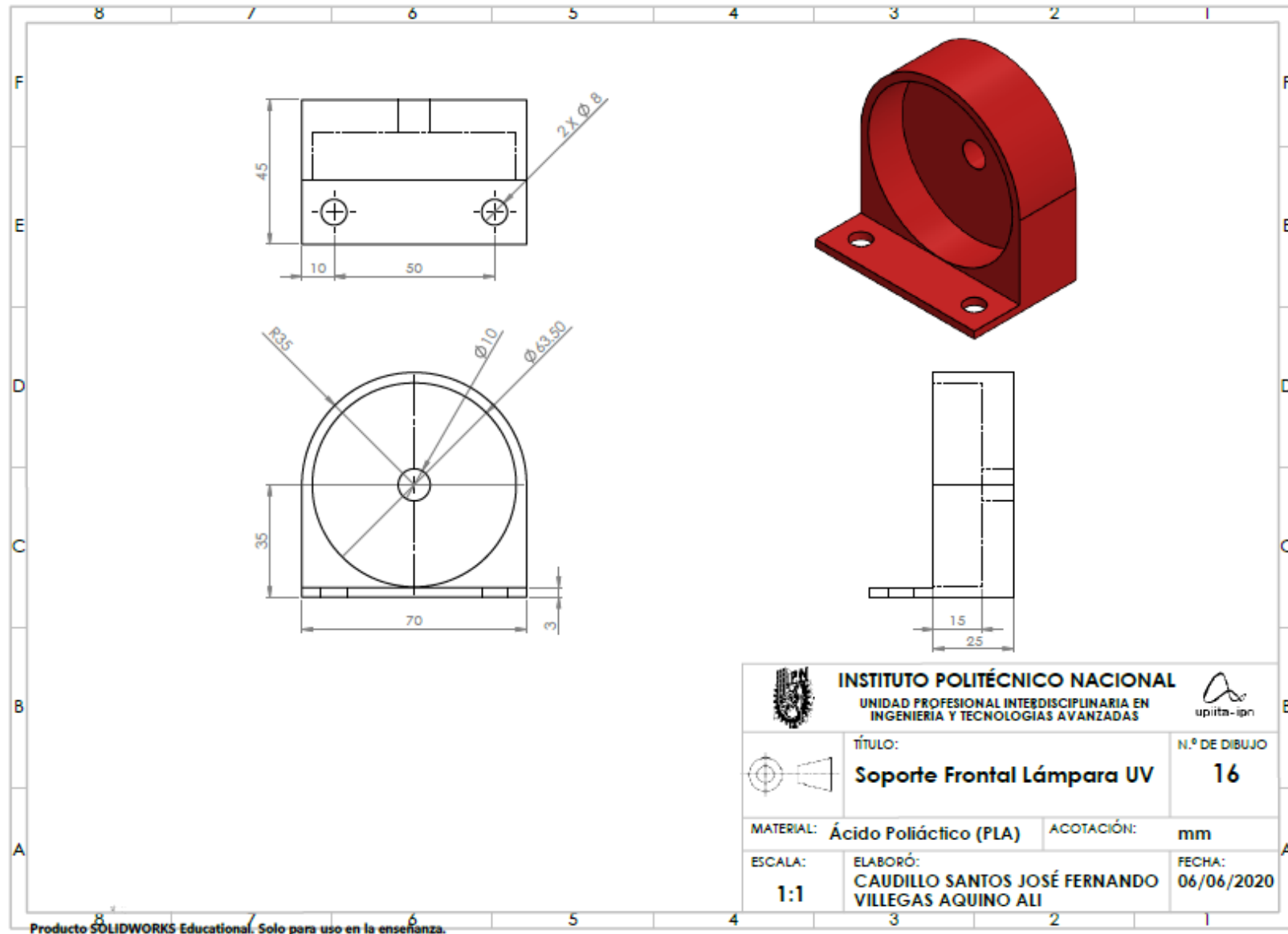


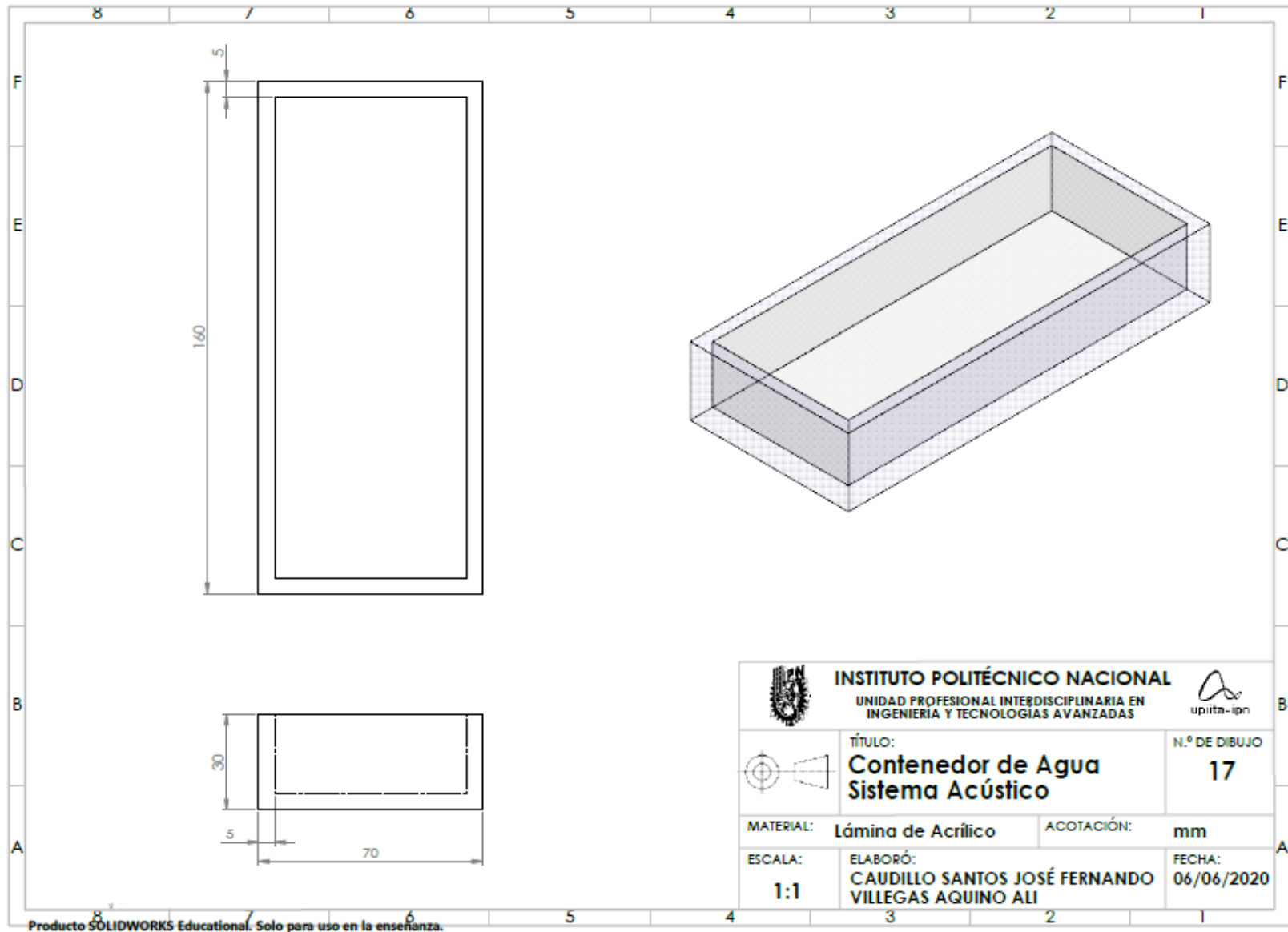


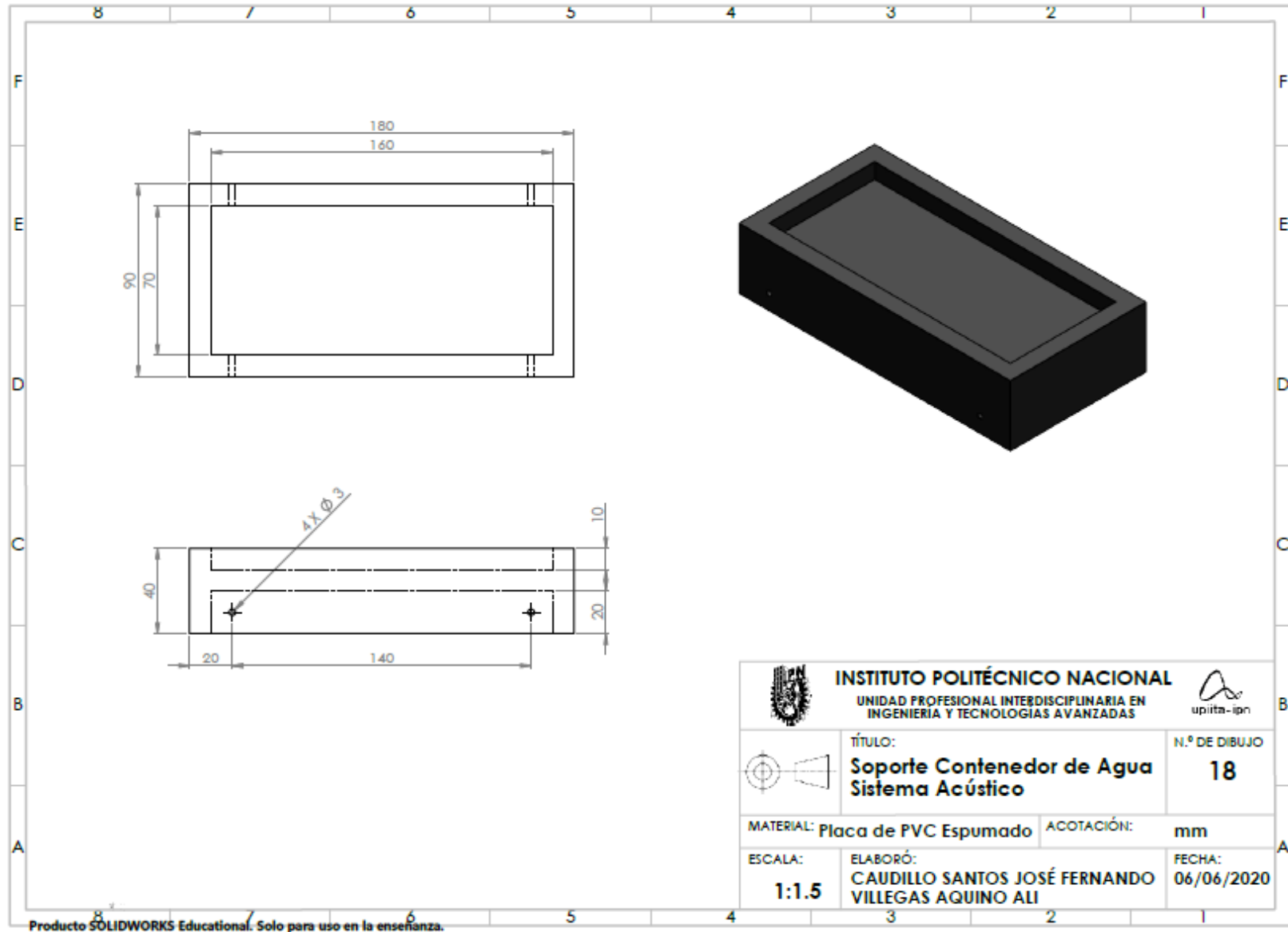
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

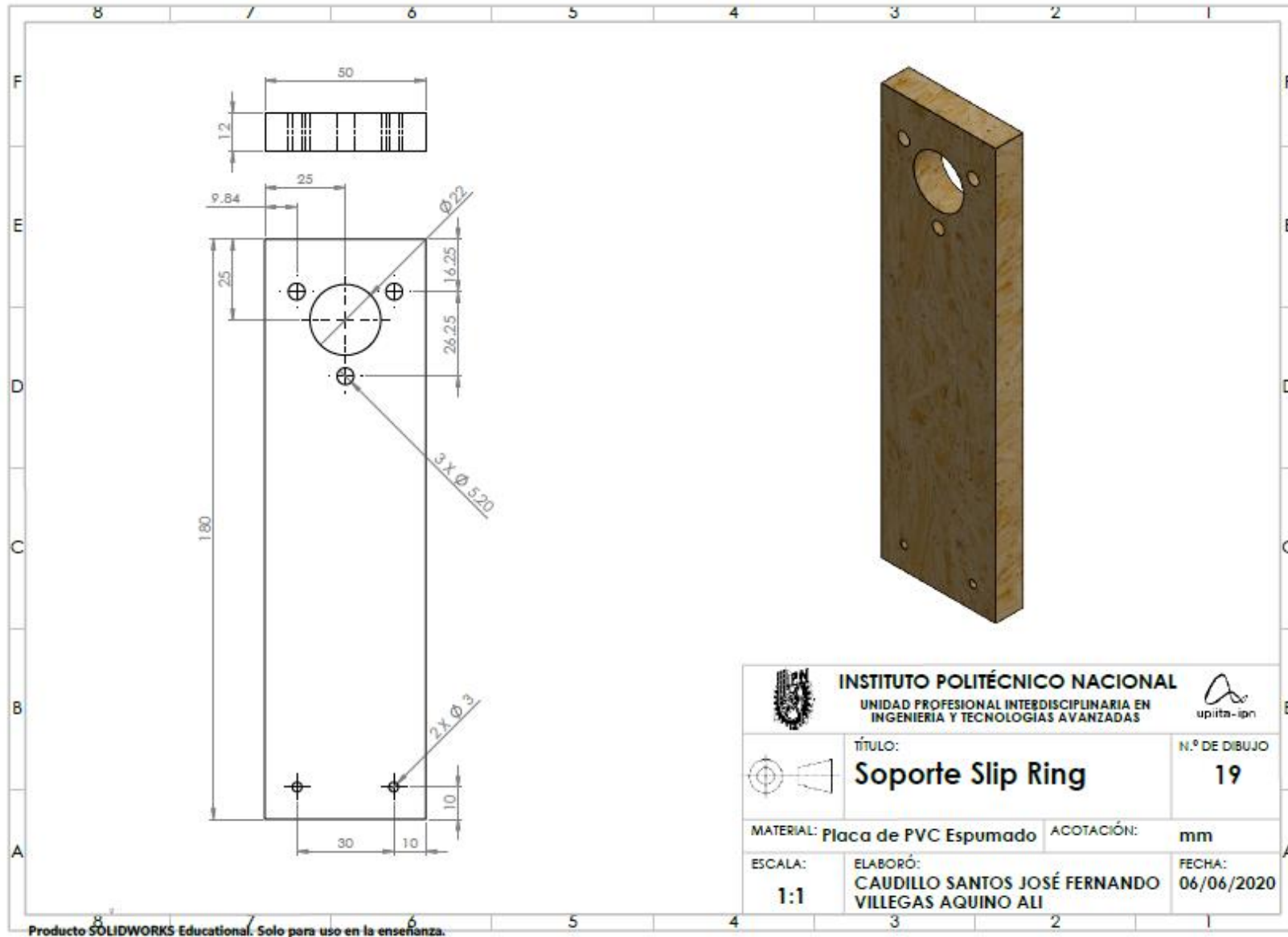












Glosario

Concentración: Es la relación entre la cantidad o volumen de un soluto y la cantidad de solvente. Mientras más soluto, mayor será la concentración en una solución. La concentración también es expresada como la masa entre volumen (g/L), por ejemplo, los minerales medidos en gramos en un litro de agua [137]

Molaridad: Es la forma más usada y se calcula dividiendo los moles del soluto (cantidad) por el volumen (en litros) de la disolución. [137]

Molalidad: Se calcula dividiendo los moles del soluto por la masa (en kilogramos) de disolvente. [137]

Fracción molar: Se obtiene a partir de los moles de soluto dividido por los moles totales. [137]

Dispersión: Por la dispersión de la luz, nos referimos a la eliminación de energía de una onda incidente por un medio de dispersión y la remisión de una parte de esa energía en muchas direcciones. En la mayoría de los materiales, las frecuencias resonantes se encuentran predominantemente en el ultravioleta (debido a las oscilaciones electrónicas) y en el infrarrojo (debido a las vibraciones moleculares) más que en lo visible. [138]

Nefelómetro: Instrumento también conocido como turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. [12]

NTU: Sigla significativa de Unidades Nefelométricas de Turbidez. [12]

Turbidez: Falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua más sucia, más alta será la turbidez. [12]

Unidad de procesamiento central: Conocida por las siglas CPU, del inglés: Central Processing Unit, es el hardware dentro de una computadora u otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones de un programa informático mediante la realización de las operaciones básicas aritméticas, lógicas y de entrada/salida del sistema. [139]

Electroválvulas: Es una válvula controlada eléctricamente. Esta sirve para manejar un fluido, tanto para cerrar su flujo como para direccionarlo a través de diferentes cañerías. La electroválvula está controlada por un solenoide que al ser excitado por acción magnética provoca el desplazamiento de un núcleo móvil interno que habilita o no el pasaje de fluido. [140]

Bomba de agua: Es la máquina que transforma energía, aplicándola para mover el agua. Este movimiento, normalmente es ascendente. Las bombas pueden ser de dos tipos “volumétricas” y “turbo-bombas”. Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión). [141]

Circuito Hidráulico: Un circuito hidráulico es un sistema que comprende un conjunto interconectado de componentes separados que transportan líquido. Este sistema se usa para controlar el flujo del fluido o controlar la presión del fluido. [142]

Detectores Ópticos: Son sensores cuyos elementos de emisión y recepción están puestos en el mismo conjunto óptico. Los rayos emitidos por el transmisor se reflejan en la superficie del objeto detectado y retornan al elemento receptor, conocido como detector reflexivo, o bien son transmitidos directamente llegando al receptor, llamados detectores de barrera. [143]

Espectro electromagnético: Es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética. [144] En la Figura 255 se aprecia todo el espectro electromagnético.

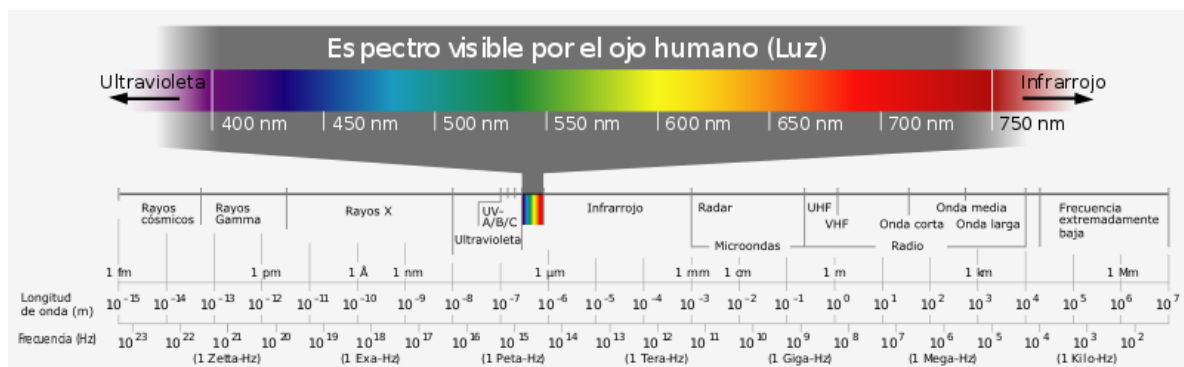


Figura 255. Espectro electromagnético [145]

Las clasificaciones de la luz según su longitud de onda se pueden observar en la siguiente Figura.

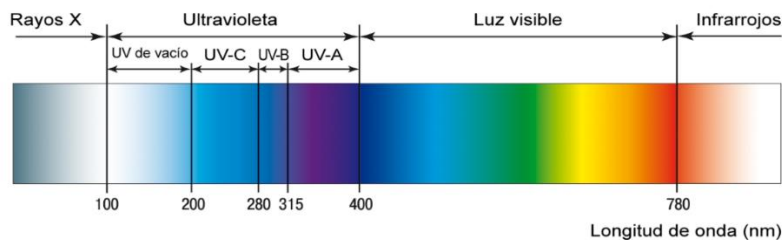


Figura 256. Espectro Electromagnético. [146]

Espectro UVC: Radiaciones de longitud de onda corta comprendida entre los 100 y los 280 nm. Las radiaciones UVC son absorbidas en su totalidad por la capa de ozono. Esta radiación se ubica en el UV Lejano [147]

Espectro UVB: Radiaciones de longitud de onda media comprendida entre los 280 y los 315 nm. Representan como máximo un 10% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre. Esta radiación se ubica en el UV Medio [147]

Espectro UVA: Radiaciones de longitud de onda larga comprendida entre los 315 y 400 nm. Apenas retenidos por la atmósfera. Al menos el 90% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre son UVA. UVA se subdivide en UVA-I (340 nm - 400 nm) y UVA-II (315 nm - 340 nm). Esta radiación se ubica en el UV cercano. [147]

Espectro VIS: Es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir, a este rango de longitudes de onda se le llama luz visible y la longitudes de onda van de este grupo van de 400nm a 750nm. [147]

Espectro IR: Son las radiaciones electromagnéticas de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que las microondas, su rango de longitudes de onda va de 750nm a 1mm y se clasifica en infrarrojo cercano (750nm a 2500nm), infrarrojo medio (2500nm a 50000nm) e infrarrojo lejano (50um a 1mm). [147]

Radiofrecuencia: Abreviado RF, corresponde al espectro de radiofrecuencias situada entre los 3Hz y los 300 GHz, estas radiaciones son no ionizantes por lo que no pueden afectar a las moléculas orgánicas o iones, la radio frecuencia tiene diferentes bandas del espectro de radiofrecuencia que se muestra en la Tabla 61:

Tabla 61. Clasificación de las ondas de radiofrecuencia [148]

Nombre de frecuencia	Frecuencia en inglés	Abreviatura inglesa	Banda	Frecuencias	Longitud de onda
<i>Frecuencia extremadamente baja</i>	Extremely Low Frequency	ELF	1	3-30 Hz	100000 – 10000 km
<i>Súper baja frecuencia</i>	Super Low Frequency	SLF	2	30-300 Hz	10000 – 1000 km
<i>Ultra baja frecuencia</i>	Ultra Low Frequency	ULF	3	300 – 3000 Hz	1000 – 100 km
<i>Muy baja frecuencia</i>	Very Low Frequency	VLF	4	3 – 30 kHz	100 – 10 km
<i>Baja frecuencia</i>	Low Frequency	LF	5	30 – 300 kHz	10 – 1 km
<i>Media frecuencia</i>	Medium Frequency	MF	6	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m

<i>Alta Frecuencia</i>	High Frequency	HF	7	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
<i>Muy alta frecuencia</i>	Very High Frequency	VHF	8	30-300 MHz	10 – 1 m
<i>Ultra alta frecuencia</i>	Ultra High Frequency	UHF	9	300-3000 MHz	1 m – 100 mm
<i>Súper alta frecuencia</i>	Super High Frequency	SHF	10	3-30 GHz	100 – 10 mm
<i>Frecuencia extremadamente alta</i>	Extremely High Frequency	EHF	11	30-300 GHz	10 – 1 mm

Espectro audible: Es el conjunto de frecuencias que el oído humano es capaz de percibir, se considera que el espectro audible para una persona sana va desde los 20 Hz a los 20kHz. Las frecuencias debajo de los 20Hz se denominan infrasonidos y aunque el oído humano no las puede escuchar si se pueden percibir vibraciones mecánicas y las frecuencias por encima de los 20kHz se denominan ultrasónicos y tienen mucha aplicación en la industria, ensayo de materiales, medidas de distancia, ecografía y fisioterapia algunas por mencionar. [149]

Potencia óptica: Es la condición de la visión, la capacidad de enfocar un objeto a cierta distancia cuya imagen se forma más allá. [150]

PWM (Modulación por ancho de pulso): En inglés pulse width modulation PWM, es un tipo de señal de tensión utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. [151]

Interfaz Humano Maquina: Que lleva acabo el usuario es el medio de comunicación entre este y una máquina, computadora o dispositivo en general. Su objetivo es que el usuario pueda suministrarle información y así operarlo, por lo que debe ser fácil de entender y accionar. [152]

Esparcimiento Raleigh: Se refiere a la dispersión de la luz por moléculas o partículas de hasta aproximadamente una décima parte de la longitud de onda de la luz. [153]

Referencias

- [1] M. Anthony, «Nefelometría: en qué consiste y aplicaciones,» Lifeder, 2014. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/nefelometria/>. [Último acceso: 30 09 2019].
- [2] H. E. Antonio, «LEY DEBOUGUER-LAMBERT-BEER,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2014/05/L.-Ley-de-Bouguer-Lambert-Beer-0.pdf>. [Último acceso: 30 09 2019].
- [3] T. L. Yolanda, «Prevención de vertido de contaminantes en el Lago de Chapala,» CIATEJ, 24 01 2018. [En línea]. Available: <https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Prevencion-de-vertido-de-contaminantes-en-el-Lago-de-Chapala/47>. [Último acceso: 01 10 2019].
- [4] G. M. Carolina, «Contaminados, 70% de cuerpos de agua en México: especialistas,» Jornada, 27 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.jornada.com.mx/2018/05/27/sociedad/034n1soc>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [5] Metas y Metrólogos Asociados, «Medición de Turbidez en la Calidad del Agua,» 01 2010. [En línea]. Available: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [6] H. Khoujam, «Turbidimetry & Nephelometry,» [En línea]. Available: <https://www.kau.edu.sa/Files/0013791/Subjects/Turbidimetry%20and%20Nephelometry.pdf>. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [7] E. Manuel, «Del nefelómetro al fotón,» 18 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://eugenio.naukas.com/2016/01/18/del-nefelometro-al-foton/>. [Último acceso: 3 Octubre 2019].
- [8] C. Merino, «Turbidez: nuevo concepto de medida en laboratorio y proceso,» 15 Octubre 2015. [En línea]. Available: https://asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/2_PONENCIA%20NUEVA%20TECNOLOGIA%20TURBIDEZ.pdf. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [9] Y. Álvarez Cerón, «Origen de la Nefelometría,» 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/358468040/ORIGEN-DE-LA-NEFELOMETRI-A>. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [10] Á. Monroy, «Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, desarrollo y aplicaciones, seguridad, amenazas y mal uso,» 2012.
- [11] J. Portillo, A. Bermejo y A. Bernados, «Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID),» Fundación Madrid para el Conocimiento, Madrid, 2015.
- [12] S. Q. Y. Rojas Figueroa Sergio Andrés, «Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir turbidez,» USB, Bogotá D.C, 2007.
- [13] D. Acebo González y A. Hernández García, «Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida,» *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, vol. 44, nº 1, pp. 2-13, 2013.
- [14] J. Zenteno García, *Desarrollo de un instrumento para medir la concentración de partículas suspendidas en un medio gaseoso (Nefelómetro) en base de láser diodo*, México D.F., 2015.
- [15] T. N. Hunter, J. Peakall y S. Biggs, *An acoustic backscatter system for in situ concentration profiling of settling flocculated dispersions*, Reino Unido, 2012.
- [16] E. H., M. Hussein y T. Becker, *Posibilidad de utilizar técnicas acústicas para la evaluación del procesamiento de la masa.*, Weihenstephaner, 2011.

- [17] R. Johnson, K. Overoye y P. Bhuta, *Instrumento y método de medición de concentración de partículas acústicas*, California, 1971.
- [18] PCE Ibérica, «Nefelómetro C-102,» [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-medida-laboratorio/nefelometro-c102.htm>. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [19] Tecnológico de Monterrey, «Este dispositivo te permite detectar en segundos agua contaminada,» Tecnológico de Monterrey, 2 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://tecreview.tec.mx/este-dispositivo-te-permite-detectar-en-segundos-agua-contaminada/>. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [20] National Institute of Standards and Technology, «Branson 1510 Ultrasonic Cleaner,» [En línea]. Available: <https://www.nist.gov/laboratories/tools-instruments/branson-1510-ultrasonic-cleaner>. [Último acceso: 27 Noviembre 2019].
- [21] J. A. B. R. E. F. R. A. G. C. e. Nieves Abril Díaz1, «8. Espectrofotetría: Espectros de absorción y,» 2006. [En línea]. Available: https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf. [Último acceso: 01 06 2020].
- [22] A. Muhye, «Nefelometría: en qué consiste y aplicaciones,» lifeder.com, 2014. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/nefelometria/>. [Último acceso: 02 06 2020].
- [23] *Funcionamiento-Espectrofotómetro*. [Película]. México: Sara B, 2015.
- [24] *Espectrofotómetro de Mesa CM-5 ¿Cómo Funciona?*. [Película]. Argentina: Kinica Minolta Sensing - Latin America, 2015.
- [25] *turbidimetría Y nefelometría*. [Película]. México: Annel Escobar, 2018.
- [26] A. Baños, «¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?,» Product Manager de Fotometría-Turbidez de HANNA INSTRUMENTS, 24 12 2018. [En línea]. Available: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>. [Último acceso: 01 06 2020].
- [27] H. E. Antonio, «LEY DEBOUGUER-LAMBERT-BEER,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2014/05/L.-Ley-de-Bouguer-Lambert-Beer-0.pdf>. [Último acceso: 04 11 2019].
- [28] Atarés Huerta, Lorena, (Universidad Politécnica de Valencia), «Fracción másica y fracción molar. Definiciones y conversión,» [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12649/10.%20Art%3%ADculo%20docente.%20Fracci%3%B3n%20m%3%A1sica%20y%20fracci%3%B3n%20molar.%20Definiciones%20y%20conversi%3%B3n.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 01 06 2020].
- [29] M. Reboiras, *Química: La ciencia básica*, Madrid, España: Thomson Learning Ibero, 2005.
- [30] A. P. Z. Rodriguez, «ANÁLISIS INSTRUMENTAL EN INGENIERIA II. TEMA.NEFELOMETRIA,» 07 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/gestion-publica/apuntes/nefelometria-fundamento-teorico/4554076/view>. [Último acceso: 02 06 2020].
- [31] TECNOCONVERTING, «¿Que Es La NTU?,» TECNOCONVERTING ENGINEERING, 2018. [En línea]. Available: <https://www.tecnoconverting.es/articulos-tecnicos/que-es-la-ntu/>. [Último acceso: 05 03 2020].
- [32] M. Sadar, «Making Sense of Turbidity Measurements - Advantages in Establishing Traceability Between Measurements and Technology,» Chattanooga, TN, USA., 2004.

- [33] K. Gavroglu, Strutt, John William, third Baron Rayleigh (1842–1919), Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [34] B. e. al, «Light Scattering, Science and Technology,» 1968.
- [35] D. Lawler, Turbidimetry and Nephelometry, Academic Press Ltd, UK.: Encyclopedia of Analytical Science, 1995.
- [36] K. y. F. C. Slim, Dirección, *Rapidez relativa del sonido en sólidos, líquidos y gases | Física | Khan Academy en Español*. [Película]. México: KhanAcademyEspañol, 2016.
- [37] IMPRIMALIA3D by 3Dnatives, «Dispositivo impreso en 3D que multiplica el efecto de los ultrasonidos,» IMPRIMALIA3D, 28 10 2016. [En línea]. Available: <http://imprimalia3d.com/noticias/2016/10/27/008154/dispositivo-impreso-3d-que-multiplica-efecto-ultrasonidos>. [Último acceso: 05 06 2020].
- [38] R. N. M Olmo, «Velocidad,» Hyperphysics, 09 11 2016. [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vel2.html#c1>. [Último acceso: 05 06 2020].
- [39] TDC1011 Single Channel Ultrasonic Sensing Analog Front End (AFE) for Level Sensing,, Dallas, Texas: Texas Instruments, 2015].
- [40] D. G. E. D. Dyck, Pruebas de la excitación de los transductores ultrasonicos SONIMP, Ciudad de México: Instituto Mexicano del Petroleo , 2019.
- [41] D. J. L. d. C. -. Olivares, «Cavitación por ultrasonido,» Clínica estética y salud, 2020. [En línea]. Available: <http://doctordelcastillolivares.com/index.php/cavitacion-por-ultrasonido>. [Último acceso: 05 06 2020].
- [42] Tu Mejor Versión, «¿Pará que sirve el Cloruro de Sodio? Beneficios y propiedades,» blog.nutritienda, 01 01 2010. [En línea]. Available: <https://blog.nutritienda.com/cloruro-de-sodio/>. [Último acceso: 05 06 2020].
- [43] R. R. Carranza, Vademécum Académico de Medicamentos, Granada, España: Mc Graw Hill, 2005.
- [44] «Pigmentos orgánicos de Heubach,» Heubach Competence in color , 2019. [En línea]. Available: <https://www.heubachcolor.com/es/productos/pigmentos-organicos/#:~:text=Un%20pigmento%20org%C3%A1nico%20es%20una,sistemas%20de%20recubrimiento%20y%20pol%C3%ADmeros..> [Último acceso: 05 06 2020].
- [45] J. I. S. Ruiz, Dirección, *Carmín de Índigo. Colorante e Indicador de pH y Redox*. [Película]. Zaragoza, España: Cienciabit: Ciencia y Tecnología, 2018.
- [46] M. A. Dosal, «CURVAS DE CALIBRACIÓN EN LOS MÉTODOS ANALÍTICOS,» 03 2008. [En línea]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf. [Último acceso: 06 06 2020].
- [47] H. D. C., Análisis Químico Cuantitativo, España: Reverte 2da edición, 2001.
- [48] D. E. Pacheco, Dirección, *Series de tiempo*. [Película]. México: Tecnológico de Monterrey, 2018.
- [49] M. e. C. J. F. Campos, UPIITA, México, 2019.
- [50] Norman Lamps Inc, «CFL15 / UV / MED Germicida-UV 15W,» 1995. [En línea]. Available: https://normanlamps.com/cfl15-uv-med.html?__cf_chl_jschl_tk__=27e3b24d493bb192d0da14e034e1d971fec36b97-1585601604-0-ATU9WHIDLSe7qnq4fHZtU6g1-KyoLLeutMxNovOtOAw8nUddhVi2_dloOfHRd8GEtd9Xh887jI_qPW0_eEf7M6BLViAOT8BxGNhsukdETLyV_6OHVPHblQzfwLHGdQoSjZVv3woLBq. [Último acceso: 30 03 2020].

- [51] Mouser Electronics, «IN-C33DTDU1,» 09 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Inolux/IN-C33DTDU1?qs=sGAepiMZZMusoohG2hS%252B168PbK3Wnfgf1smA9ZzWeWVSql6tQfipHw==>. [Último acceso: 2020 04 23].
- [52] Mouser Electronics, «VLMU35CM00-280-120,» 13 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/VLMU35CM00-280-120?qs=sGAepiMZZMve4%2FbfQkoj%252BBKQ8C0n3BDjaO2Y0Vhbzcg%3D>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [53] Mouser Electronics, «XBT-1313-UV-A130-AB280-00,» 11 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Luminus-Devices/XBT-1313-UV-A130-AB280-00?qs=sGAepiMZZMu4Prknbu83y46Vt3EUeCYo0OmffkAPGjBc7nIt7Q5SCg%3D%3D>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [54] Mouser Electronics, «LZ1-10UV0R-0000,» 22 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/LED-Engin/LZ1-10UV0R-0000?qs=sGAepiMZZMsG1k5vdNM%2Fc2axWykdQhAuFB%252BUZBcWU6s%3D>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [55] A. ELECTRÓNICA, «LED-UV-1W-375-380NM/3535,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-UV-1W-375-380NM/3535>. [Último acceso: 04 03 2020].
- [56] AG Electrónica, «LED DE POTENCIA 1W ULTRAVIOLETA 390-395NM,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-UV-1W-390-395NM>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [57] AG Electrónica, «LED-UV5D-AC-R30/400,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-UV5D-AC-R30/400>. [Último acceso: 04 03 2020].
- [58] AG Electrónica, «LED DIP 5MM VIOLETA ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-SP5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [59] AG Electrónica, «LED DIP 5MM ROSA BRILLANTE,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-PK5D-B-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [60] AG Electrónica, «LED DIP 5MM NARANJA ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-O5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [61] AG Electrónica, «LED DIP 5MM AMARILLO ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-Y5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [62] AG Electrónica, «LED DIP 5MM AZUL ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-B5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [63] AG Electrónica, «LED DIP 5MM VERDE ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-G5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [64] AG Electrónica, «LED DIP 5MM ROJO ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-R5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].

- [65] AG Electrónica, «LED DIP 5MM BLANCO PURO ESTANDAR,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LED-W5D-AC-R30>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [66] Mouser Electronics, «L110-0850955800000,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Lumileds/L110-0850955800000?qs=sGAEpiMZZMsG1k5vdNM%2Fc08i8SULTgQZfpZvIrHu3H8%3D>. [Último acceso: 2020 05 04].
- [67] AG Electrónica, «LED INFRARROJO 25 GRADOS 875nm,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=OP%20298A>. [Último acceso: 04 05 2020].
- [68] Mouser Electronics, «APT2012SF4C-PRV,» 04 01 2017. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Kingbright/APT2012SF4C-PRV?qs=sGAEpiMZZMseGfSY3csMkfEK84xZfg2S%252BSrbFNise6c%3D>. [Último acceso: 04 05 2020].
- [69] AG Electrónica, «IR 383,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=IR%20383>. [Último acceso: 04 03 2020].
- [70] AG Electrónica, «LED INFRARROJO GALIO ARSENICO,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LN%2054>. [Último acceso: 07 03 2020].
- [71] SparkFun Start Something , «SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x (Qwiic),» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/15050>. [Último acceso: 04 03 2020].
- [72] MACTRONICA, «SENSOR DE RAYOS UV UVM-30A,» MACTRONICA ELECTRÓNICA Y TECNOLOGÍA , [En línea]. Available: <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-rayos-uv-uvm30a-1003307905xJM>. [Último acceso: 04 03 2020].
- [73] Pololu, «Motorreductor de metal micro 5: 1 HPCB 12V con eje de motor extendido,» Pololu Corporation, 2001-2020. [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/3047>. [Último acceso: 13 04 2020].
- [74] AG Electrónica, «L 293D,» 04 1993. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=L%20293D>. [Último acceso: 04 05 2020].
- [75] Pololu Robotics and Electronics, «Stepper Motor: Unipolar/Bipolar, 200 Steps/Rev, 42×48mm, 4V, 1.2 A/Phase,» 2001. [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/1200>. [Último acceso: 04 05 2020].
- [76] Sparkfun, «Easy Driver Hook-up Guide,» 27 10 2014. [En línea]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/easy-driver-hook-up-guide/all#hardware-overview>. [Último acceso: 04 05 2020].
- [77] SanDoRobotics, «Micro Servomotor Tower Pro SG90,» SanDoRobotics Corporation, 2009-2020. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/sg90/?thc-month=201505>. [Último acceso: 29 Abril 2020].
- [78] AMAZON, «GeeBat Mini Cápsula Electrical Slip Ring 12.5mm 250RPM 250VDC/VAC 6/12 Cables CIRCUITSx2A para monitor Robotic,» 15 11 2016. [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/GeeBat-Capsule-Electrical-CIRCUITSx2A-monitor/dp/B01N2GO9ZR/ref=cm_cr_ar_p_d_pdt_img_top?ie=UTF8&th=1. [Último acceso: 11 05 2020].
- [79] AG Electrónica, «LM555CMX/NOPB,» 2017. [En línea]. Available: https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=LM555CMX/NOPB*. [Último acceso: 08 03 2020].

- [80] AG Electrónica, «AD5206BRUZ10,» 2017. [En línea]. Available: https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=AD5206BRUZ10*. [Último acceso: 02 03 2020].
- [81] Mouser Electronics, «SN74HC595N,» 12 1982. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Texas-Instruments/SN74HC595N?qs=sGAEpiMZZMtYFXwiBRPs0%2FIH3le0%252Bbd7>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [82] Steren, «Circuito integrado TTL 4 compuertas AND de 2 entradas cada una,» ON SEMICONDUCTOR, 12 1999. [En línea]. Available: <https://www.steren.com.mx/circuito-integrado-ttl-4-compuertas-and-de-2-entradas-cada-una.html>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [83] Mouser Electronics, «UM2222AU3T106,» 10 09 2018. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/ROHM-Semiconductor/UM2222AU3T106?qs=sGAEpiMZZMve4%2FbfQkoj%252BJ0xMPcor91LTW5ZbCfa2Oc%3D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [84] Mouser Electronics, «BD137G,» ON Semiconductor, 12 2013. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/ON-Semiconductor/BD137G?qs=vNc2DXHODiIXalzbc0LReg%3D%3D>. [Último acceso: 18 05 2020].
- [85] Mouser Electronics , «TL084CNE4,» Texas Instruments, 02 1977. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Texas-Instruments/TL084CNE4?qs=sGAEpiMZZMutXGli8Ay4kMnpQ5dzWcroZCQkHOSNyjo%3D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [86] Mouser Electronics, «MOC3023SR2M,» ON SEMICONDUCTORS, 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/ON-Semiconductor-Fairchild/MOC3023SR2M?qs=sGAEpiMZZMteimceiIVCB7OZToIkTRfk5e9%2FEORR5tE%3D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [87] AG Electrónica , «TIC 226D,» SILICON TRIACS, 04 1971. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=TIC%20226D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [88] Mouser Electronics, «TCST2103,» VISHAY, 17 08 2009. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/TCST2103?qs=%2Fha2pyFadujTsn%252BK%252BuLhHItRdlSn0f%2FDgWYSmAq6yV0%3D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [89] Mouser Electronics , «PC817X1NSZ1B,» SHARP, 07 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Sharp-Microelectronics/PC817X1NSZ1B?qs=sGAEpiMZZMve4%2FbfQkoj%252BIKXhmNghoIOip5SzP0TgkI%3D>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [90] SCITEC INSTRUMENTS, «300D10 - 102mm 10 Slot Optical Chopper Disc,» 300D10 Features, [En línea]. Available: https://scitec.uk.com/optical_chopper/discs/300D10. [Último acceso: 05 04 2020].
- [91] AMAZON.ES, «SY-802PT Lente convex de cristal de cuarzo, lente óptica, lente convexa plana, diámetro: 10,0 mm, f:30,0 mm,» 08 09 2018. [En línea]. Available: https://www.amazon.es/SY-802PT-convex-cristal-convexa-di%C3%A1metro/dp/B06XC8YG9G/ref=sr_1_1?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=lente+de+cuarzo&qid=1583446820&s=industrial&sr=1-1. [Último acceso: 30 03 2020].

- [92] 3B SCIENTIFIC PHISICS, «Diafragmas de ranura y de orificio, juego de 5,» Scientific GmbH, Hamburgo, 2015.
- [93] Sumatec, «TE INVITAMOS A CONOCER LA LIJA DE AGUA Y SUS APLICACIONES,» 6 09 2017. [En línea]. Available: <https://sumatec.co/conoce-la-lija-de-agua-aplicaciones/>. [Último acceso: 05 05 2020].
- [94] AMAZON.ES, «Cubetas de cuarzo UV (longitud de trazo: 0.394 in; volumen de la cámara: 3,5 ml; ventanas de cuatro lados).,» 14 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Cubetas-cuarzo-longitud-trazo-0-394/dp/B07NHQR12C?th=1>. [Último acceso: 30 03 2020].
- [95] TEXAS INSTRUMENTS, «TDC1011 Single Channel Ultrasonic Sensing Analog Front End (AFE) for Level Sensing,» Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2015.
- [96] TEXAS INSTRUMENTS, «TDC7200 Time-to-Digital Converter for Time-of-Flight Applications in LIDAR,» Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2016.
- [97] Mouser Electronics, «ASE-12.000MHZ-LC-T,» 03 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/ABRACON/ASE-12000MHZ-LC-T?qs=sGAEpiMZZMtdj7qu1ydrbl3ra3g7giBHaxFSYM0cHI%3D>. [Último acceso: 12 05 2020].
- [98] Texas Instruments, «TDC7200 Time-to-Digital Converter for Time-of-Flight Applications in LIDAR,» Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2015.
- [99] ACRILUX S.A., «Propiedades del Acrílico,» 11 02 2013. [En línea]. Available: <https://acrilux.com.ec/files/PROPIEDADES.pdf>. [Último acceso: 07 06 2020].
- [100] AG Electrónica, «L 7812CV,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=L%207812CV>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [101] AG Electrónica, «L 7809CV,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=L%207809CV>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [102] AG Electrónica, «L 7805CV,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=L%207805CV>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [103] Microchip Technology Incorporation, «MCP1725,» Microchip Inc., 1998-2020. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en520339#additional-features>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [104] SanDoRobotics, «Batería LiPo 14.8V, 2200mAh 4S1P 35C,» 2019. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hd2200xp-4s/>. [Último acceso: 12 06 2020].
- [105] Microchip Technology Incorporation, «ChipKIT uC32 Development Board,» Microchip Inc., 1998-2020. [En línea]. Available: https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/TDGL017#utm_source=MicroSolutions&utm_medium=Link&utm_term=FY17Q2&utm_content=ThirdParty&utm_campaign=Article. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [106] J. Maco, «Timer NE 555,» Word Press, 27 Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://josemaco.wordpress.com/2010/03/27/timer-ne-555/>. [Último acceso: 6 Marzo 2020].
- [107] Taller Electrónica, «Cálculo de Resistencia Limitadora de LED,» [En línea]. Available: <https://tallerelectronica.com/diodo-led/>. [Último acceso: 6 Abril 2020].
- [108] C. S. M. Jose, «Análisis básico con amplificadores operacionales,» Universitat Politècnica de València, 6 11 2014. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=U3femU0reks&t=186s>. [Último acceso: 05 03 2020].

- [109] L. Llamas, «EL BUS I2C EN ARDUINO,» Ingeniería, informática y diseño , 18 05 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/>. [Último acceso: 18 05 2020].
- [110] Texas Instruments Incorporated, «Photodiode Amplifier Reference Design,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ug/tidu535/tidu535.pdf?ts=1591143294716>. [Último acceso: 6 Junio 2020].
- [111] AG Electrónica, «BPW 34,» [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=BPW%2034>. [Último acceso: 2 Junio 2020].
- [112] Digi-Key Electronics, «Lo básico de los filtros de paso bajo antialérgicos (y por qué deben ser adaptados a la CAD),» 24 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com.mx/es/articles/the-basics-of-anti-aliasing-low-pass-filters>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [113] F. Jiménez López y P. Fabian Cárdenas, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS ANTIALIASING PARA LA ADQUISICIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN UN FAP,» *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, n° 18, pp. 10-17, 2011.
- [114] Analog Devices Incorporation, «Analog Filter Wizard,» 1995-2020. [En línea]. Available: <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>. [Último acceso: 2 Junio 2020].
- [115] Texas Instruments, Op Amps For Everyone, Dallas, Texas: Texas Instruments, Agosto 2002.
- [116] Parker Hannifin Corporation, «Diseño de estructuras con Sistema estructural de aluminio IPS,» 2002. [En línea]. Available: <http://www.icraai.com/CURIPS.pdf>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [117] Acrílico y Policarbonato, «Propiedades del Acrílico,» [En línea]. Available: <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico-propiedades.html>. [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [118] Lork Industrias, «CARACTERÍSTICAS GENERALES PVC ESPUMADO,» [En línea]. Available: http://www.lorkindustrias.com/prod_plasticos_pvcespumado_esp.html#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20generales%20PVC%20espumado,al%20impacto%2C%20etc.... [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [119] Maupe Tecnología LED, «Características del acero inoxidable,» [En línea]. Available: <https://www.maupe.com/Empresa/caracteristicas-del-acero-inoxidable/>. [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [120] Pololu Robotics and Electronics, «Pololu Universal Aluminum Mounting Hub for 5mm Shaft, M3 Holes (2-Pack),» Pololu, 2001. [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/1998/specs>. [Último acceso: 19 05 2020].
- [121] Pololu Robotics and Electronics, «Pololu Universal Aluminum Mounting Hub for 3mm Shaft, M3 Holes (2-Pack),» Pololu, 2001. [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/1996/specs>. [Último acceso: 19 05 2020].
- [122] H. Rodríguez, «Tornillo de Potencia,» Ingemecánica, [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 5 Mayo 2020].
- [123] F. P. Beer, E. R. Johnston, D. F. Mazurek y E. R. Eisenberg, Mecánica Vectorial para Ingenieros Estática, Mc Graw Hill, 2013.
- [124] SanDoRobotics Corporation, «Tornillo Trapezoidal 8mm – 300mm,» [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hr0645/>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].

- [125] H. D. Young y R. A. Freedman, Física Universitaria Volumen 1, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [126] Universidad de Santiago de Chile, «Resistencia de Materiales Aplicada,» 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/RJosue2015/apuntes-curso-rmaclase3arreglando>. [Último acceso: 15 Mayo 2020].
- [127] SanDoRobotics Corporation, «Cople Flexible 5x8x25mm,» [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hr0641/>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [128] Vaxa Software, «Fórmulas de deformación de vigas,» 2007-2020. [En línea]. Available: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/vigasdef.pdf. [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- [129] SanDoRobotics Corporation, «Barra de Cromo de Eje Lineal – 30 cm,» 2009-2020. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hr0658/>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [130] Universidad Santo Tomas Colombia, «Selección de rodamientos,» [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1802/2016-Anexo%2010-Seleccion%20de%20rodamientos.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 Mayo 2020].
- [131] J. M. Marín, Apuntes de Diseño de Máquinas, Alicante, España: Editorial Club Universitario, 2008.
- [132] SanDoRobotics, «Chumacera Balero Para Eje Lineal 8mm – KFL08 (Paralelo),» 2009-2020. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hr0737/>. [Último acceso: 27 Mayo 2020].
- [133] SanDoRobotics, «Bracket Tipo “L” para Motor a Pasos NEMA 17,» 2012. [En línea]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hr0466/>. [Último acceso: 07 06 2020].
- [134] J. Padiál, «¿Qué es una curva de calibración?,» 17 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://curiosoando.com/que-es-una-curva-de-calibracion>. [Último acceso: 19 Diciembre 2020].
- [135] R. C. Smith y K. S. Baker, «Optical properties of the clearest natural waters (200-800nm),» *Optical Society of America*, pp. 4-6, 1980.
- [136] P. Sáez, «Técnicas de Análisis Instrumental en Enología,» 21 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://urbinavinos.blogspot.com/2016/02/tecnicas-de-analisis-instrumental-en.html>. [Último acceso: 19 Diciembre 2020].
- [137] Significados, «Significado de Concentración,» 30 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/concentracion/>. [Último acceso: 31 05 2020].
- [138] F. L. Pedrotti, L. M. Pedrotti y L. S. Pedrotti, «Polarization By Scattering,» de *Introduction To Optics*, Pearson Prentice Hall, 2007, pp. 355-357.
- [139] L. A, «CPU: Central Processing Unit,» 2016.
- [140] DISTRITEC Hidráulica-Neumática, «¿Qué son las electroválvulas?,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.distritec.com.ar/?fbclid=IwAR33lwiXM3j3q4zhQjU9uM3DT6XLAIpzUChieWCIV3cRbPQY3hIxx76lXo>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [141] B. R. Jesus, «Bombas de Agua,» 28 05 2017. [En línea]. Available: <http://bendezureynosojesus.blogspot.com/2017/05/bombas-de-agua-es-la-maquina-que.html>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [142] E. Catalán, «CIRCUITOS HIDRÁULICOS,» 25 05 2016. [En línea]. Available: <https://prezi.com/qgphdrsefxqh/circuitos-hidraulicos/>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [143] WEG, «DETECTOR OPTICO,» [En línea]. Available: <https://www.weg.net/institutional/BR/es/this-is-weg>. [Último acceso: 02 10 2019].

- [144] J. Ordóñez, Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico, 2017.
- [145] Wikipedia, «Espectro electromagnético,» 04 06 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico. [Último acceso: 06 06 2020].
- [146] LIT ULTRAVIOLET TECHNOLOGY, «TECNOLOGÍA DE DESINFECCIÓN UV,» [En línea]. Available: <https://www.lit-uv.com/es/technology/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2019].
- [147] C. Sinclair, Artificial tanning sunbeds, Switzerland: World Health Organizations, 2003.
- [148] A. O. Hero, «Radio Transmission,» ENCLYCLOPEDIA BRITANNICA, 21 01 2014. [En línea]. Available: <https://global.britannica.com/topic/telecommunications-media/Radio-transmission>. [Último acceso: 06 06 2020].
- [149] F. R. Tim Mc Cormick, Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras, Madrid, España: Omega Ediciones, 2008.
- [150] P.E.G.González, Guía básica de conceptos de óptica geométrica V.2.0, Sevilla: ESI-Universidad Sevilla, 2007, p. 58.
- [151] RACSO, Modulación por ancho de pulso (PWM), 2014.
- [152] I.G.L.Barrios, Interfaces Hombres-Máquina, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, 2014.
- [153] HyperPhysics, «Dispersión de Rayleigh y de Mie,» Georgia State University, 2016. [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/atmos/blusky.html>. [Último acceso: 24 Septiembre 2019].