

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA INTERACTIVO DE ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA PARA EL USO EN MUSEOS DE CIENCIAS

*Trabajo de grado presentado  
como requisito parcial para optar  
al título de Licenciado en Física*



T.M.I Marcial Alexander González Rivas.  
Tutor: Ldo. Jose Alberto Torres.

Merida, Septiembre, 2018

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

# ***DEDICATORIA***

*Este proyecto de tesis va dedicado a mis **padres y hermanos**, quienes siempre me han apoyado en mi vida estudiantil, siendo los principales motivadores para la culminación de mi carrera universitaria, quienes con su amor, confianza y esfuerzo lograron que me forme como un profesional.*

*Les agradezco con creces, los quiero.*

*A mi mami **Kika**, tu ayuda ha sido fundamental has estado conmigo incluso en los momentos más difíciles. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.*

*Te lo agradezco muchísimo, Amor.*

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# ***AGRADECIMIENTO***

Agradecemos a DIOS y al Divino Niño, que nos dio y nos seguirá dando fortaleza y salud para seguir adelante todos los días.

Agradecemos a nuestra familia que siempre está presente en nuestras ideas, y juegan un papel importante en la toma de nuestras decisiones, su apoyo es de suma importancia en el desarrollo de este proyecto.

El más sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Agradecemos a nuestros profesores y amigos que siempre estuvieron apoyándonos de una u otra manera para que no desmayemos y culminemos con éxito lo que alguna vez empezamos.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Marcial Alexander González Rivas. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA INTERACTIVO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA PARA EL USO EN MUSEOS DE CIENCIAS.** Universidad de Los Andes. Tutor: Lcdo. Jose Alberto Torres, Septiembre 2018.

## RESUMEN

La ciencia ocupa hoy sin lugar a dudas un rol protagónico en la sociedad y tanto las estructuras formales como las informales de la educación constituyen una etapa fundamental para plantear la alfabetización científica de los futuros ciudadanos y ciudadanas. El déficit de profesores de física y la poca confianza de éstos en sus conocimientos disciplinarios, limita la capacidad de realizar actividades de aula apoyadas en experimentos sencillos, lo que se ve agravado debido a que en general los establecimientos educacionales no cuentan con la herramientas necesarias para una mejor comprensión de los temas en la Física, de igual manera las estructuras informales tales como museos y centros de ciencias evidencian un amplio deterioro en la forma de presentación de sus exhibiciones y en como acercarse a los usuarios.

Es por ello que este trabajo está orientado al diseño y construcción de un prototipo didáctico e interactivo de óptica geométrica, como aporte al mejoramiento de los problemas que se presentan en las estructuras formales e informales en materia de física. El desarrollo de este trabajo se hace uso de varios programas de diseño con la finalidad de obtener un prototipo 3D, verificar su correcto funcionamiento para luego pasar a la fabricación del prototipo. Entre los softwares usados se encuentran: **Autodesk Inventor** para diseño mecánico 3D, **Proteus Suite** y **MikroC** para diseño de PCB y programación de PIC's respectivamente y por último el software de diseño de sistemas óptico **Trace Pro**, este último usado para el análisis de elementos ópticos tales como: lentes, espejos.

**Descriptores:** Diseño, desarrollo, óptica geométrica, enseñanza, interactivo, museo, museos de ciencias y tecnología.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XV
INTRODUCCION	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. El problema . . . . .	3
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.2.1. Objetivo general . . . . .	4
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.3. Justificación . . . . .	4
1.4. Hipótesis . . . . .	5
1.5. Antecedentes . . . . .	6
2. MARCO TEÓRICO E INSTRUMENTAL	9
2.1. El museo . . . . .	9
2.1.1. Tipología de los museos . . . . .	10
2.1.2. La Interactividad . . . . .	11
2.1.3. Niveles de Interactividad . . . . .	12
2.1.4. Interactividad en los Museos . . . . .	13
2.2. Marco teórico conceptual . . . . .	14
2.2.1. ¿Que es la óptica geométrica? . . . . .	14
2.2.2. Índice de refracción . . . . .	15
2.2.3. Ley de reflexión . . . . .	15
2.2.4. Ley de refracción . . . . .	16
2.2.5. Reflexión interna total . . . . .	17
2.2.6. Sistemas ópticos . . . . .	18



2.2.6.1.	Sistemas catóptricos . . . . .	20
2.2.6.2.	Sistemas dióptricos . . . . .	22
2.3.	Marco teórico instrumental . . . . .	23
2.3.1.	Microcontrolador PIC-16F628A . . . . .	23
2.3.2.	Reproductor de audio SOMO-14D . . . . .	25
2.3.3.	Teclado matricial 3X3 . . . . .	26
2.4.	Metodología . . . . .	27
2.4.1.	Planeación (Guión conceptual y museológico) . . . . .	27
2.4.2.	Diseño (Concepto y desarrollo conceptual) . . . . .	27
2.4.3.	Diseño (Desarrollo técnico) . . . . .	29
2.4.4.	Fabricación y montaje . . . . .	30
2.4.5.	Evaluación . . . . .	30
<b>3.</b>	<b>APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
3.1.	Planeación (Guión conceptual y museológico) . . . . .	31
3.2.	Diseño (Desarrollo conceptual) . . . . .	32
3.2.1.	Prototipo 1 . . . . .	33
3.2.2.	Prototipo 2 . . . . .	35
3.2.3.	Prototipo 3 . . . . .	36
3.2.4.	Prototipo 4 . . . . .	38
3.2.5.	Elección de prototipo . . . . .	40
3.2.5.1.	Decisión . . . . .	41
3.2.5.2.	Matriz de decisión . . . . .	41
3.2.5.3.	Propuesta obtenida . . . . .	42
3.3.	Diseño (Desarrollo técnico o en detalle) . . . . .	43
3.4.	Fabricación y montaje . . . . .	43
3.5.	Evaluación . . . . .	44
<b>4.</b>	<b>DISEÑO ÓPTICO Y MECÁNICO</b>	<b>45</b>
4.1.	Diseño Óptico . . . . .	45
4.1.1.	Diseño de la fuente de luz (Láser de línea colimado) . . . . .	45
4.1.1.1.	El diodo láser . . . . .	46
4.1.1.2.	Lente cilíndrica . . . . .	46
4.1.1.3.	Lente convergente o colimador . . . . .	49
4.1.1.4.	Ensamble del sistema láser de línea . . . . .	50
4.1.2.	Diseño de los elemento ópticos de las experiencias . . . . .	52
4.1.2.1.	Espejo plano . . . . .	52
4.1.2.2.	Ley de refracción . . . . .	52
4.1.2.3.	Espejos curvos . . . . .	53
4.1.2.4.	Lentes . . . . .	53
4.1.2.5.	Reflexión total interna . . . . .	55
4.1.2.6.	Prisma de ángulo recto . . . . .	56
4.2.	Diseño Mecánico . . . . .	56
4.2.1.	Subconjunto fuente de luz . . . . .	58

4.2.1.1.	Base 1 . . . . .	58
4.2.1.2.	Eje 1 . . . . .	59
4.2.1.3.	Varilla . . . . .	60
4.2.1.4.	Eje 2 . . . . .	60
4.2.1.5.	Base de la caja . . . . .	61
4.2.1.6.	La caja . . . . .	61
4.2.1.7.	Eje 3 . . . . .	62
4.2.1.8.	Palanca de ajuste . . . . .	63
4.2.1.9.	Perilla . . . . .	63
4.2.2.	Subconjunto Bandeja de experiencias . . . . .	64
4.2.2.1.	Base 2 . . . . .	65
4.2.2.2.	Eje 4 . . . . .	65
4.2.2.3.	Selector . . . . .	66
4.2.2.4.	Bandeja de experiencias . . . . .	67
4.2.2.5.	Arandelas . . . . .	68
4.2.3.	Subconjunto del armazón . . . . .	68
4.2.3.1.	Tabla posterior . . . . .	69
4.2.3.2.	Tabla lateral . . . . .	69
4.2.3.3.	Tabla de la consola . . . . .	70
4.2.3.4.	Tapa frontal . . . . .	70
<b>5.</b>	<b>DISEÑO ELECTRÓNICO E INSTRUCCIONAL</b>	<b>73</b>
5.1.	Diseño Electrónico . . . . .	73
5.1.1.	Sistema de alimentación . . . . .	74
5.1.2.	Sistema de teclado matricial . . . . .	75
5.1.3.	Sistema de fuente de luz . . . . .	77
5.1.4.	Sistema de audio . . . . .	79
5.1.5.	Consola . . . . .	81
5.1.6.	Sistema de control . . . . .	82
5.2.	Diseño instruccional . . . . .	84
5.2.1.	Aplicación de la metodología ADDIE . . . . .	86
	<b>CONCLUSION</b>	<b>91</b>
	<b>A. PLANO DE CONJUNTO Y VISTAS ESTALLADAS</b>	<b>95</b>
	<b>B. DIAGRAMA DE FLUJO Y PISTAS DE AUDIO</b>	<b>105</b>

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# *LISTA DE FIGURAS*

1.1. Equipos usados como referencia en el diseño del sistema . . . . .	7
2.1. Ley de Reflexión . . . . .	16
2.2. Tipos de reflexión . . . . .	16
2.3. Ley de Refracción . . . . .	17
2.4. Reflexión interna total . . . . .	18
2.5. Espejo Plano . . . . .	20
2.6. Tipos de lentes . . . . .	22
2.7. Tipos de lentes . . . . .	23
2.8. Tipos de lentes . . . . .	24
2.9. PIC16F628A . . . . .	24
2.10. Dispositivo reproductor de audio SOMO-14D . . . . .	25
2.11. Teclado matricial 3X3 . . . . .	26
2.12. Esquema del proceso de diseño de una exposición interactiva de ciencias . . . . .	28
3.1. Aspectos técnicos . . . . .	33
3.2. Dispositivo con elementos para operar de pie. . . . .	33
3.3. Prototipo 1 . . . . .	34
3.4. Partes del prototipo 1 . . . . .	34
3.5. Vista frontal . . . . .	35
3.6. Vista isométrica . . . . .	35
3.7. Opresor de balón fuente de luz . . . . .	36
3.8. Opresor de balón eje de lentes . . . . .	36
3.9. Partes del prototipo 3 . . . . .	36
3.10. Vista frontal . . . . .	37
3.11. Vista isométrica . . . . .	37
3.12. Partes del prototipo 3 . . . . .	37
3.13. Placa de ajuste. . . . .	38
3.14. Vista frontal . . . . .	39
3.15. Vista isométrica . . . . .	39
3.16. Arreglo del sistema láser de línea . . . . .	39
3.17. Partes del prototipo 4 . . . . .	39
4.1. Laser de linea, tomado de Edmund Optics . . . . .	46
4.2. Puntero láser . . . . .	46

4.3. Lente generadora de linea láser . . . . .	47
4.4. Lente cilíndrica . . . . .	47
4.5. Diagrama de rayos en lente cilíndrica . . . . .	47
4.6. Simulación en TracePro de la linea láser . . . . .	48
4.7. Lente colimadora . . . . .	49
4.8. Simulación en TracePro de la linea láser colimada . . . . .	49
4.9. Base del laser del linea colimado . . . . .	51
4.10. Sujeccion y ajuste de las lentes cilindrica y colimadora . . . . .	51
4.11. Chapa de sujeción de la base del láser de linea . . . . .	51
4.12. Ajuste de altura de la base del láser de linea colimado . . . . .	51
4.13. Ensamble de la fuente de luz . . . . .	52
4.14. Plano del espejo plano . . . . .	52
4.15. Espejo Plano . . . . .	53
4.16. Experiencia de la ley de refracción . . . . .	53
4.17. Planos de espejos curvos . . . . .	54
4.18. Espejos curvos . . . . .	54
4.19. Plano de las lentes a fabricar . . . . .	54
4.20. Lentes . . . . .	55
4.21. Plano de lente trapecio rectangular . . . . .	55
4.22. Lente para la experiencia de reflexión interna total . . . . .	56
4.23. Distancia focal de las lentes . . . . .	57
4.24. Dimensionamiento del banco óptico . . . . .	58
4.25. Subconjunto fuente de luz . . . . .	59
4.26. Base 1 . . . . .	59
4.27. Eje 1 . . . . .	60
4.28. Varilla . . . . .	60
4.29. Eje 2 . . . . .	61
4.30. Base de la caja . . . . .	61
4.31. Chapa 1 . . . . .	62
4.32. Chapa 2 . . . . .	62
4.33. Eje 3 . . . . .	63
4.34. Palanca de ajuste . . . . .	63
4.35. Perilla . . . . .	64
4.36. Subconjunto Bandeja de experiencias . . . . .	64
4.37. Base 2 . . . . .	65
4.38. Eje 4 . . . . .	66
4.39. Sistema electro-mecanico . . . . .	66
4.40. Placa Selectora . . . . .	67
4.41. Viela . . . . .	67
4.42. Bandeja de experiencias . . . . .	68
4.43. Arandela 1 . . . . .	68
4.44. Arandela 2 . . . . .	69
4.45. Tabla posterior . . . . .	69

4.46. Tabla lateral . . . . .	70
4.47. Tabla de la consola . . . . .	70
4.48. Tapa frontal . . . . .	71
5.1. Diagrama de bloques del sistema embebido . . . . .	74
5.2. Fuente de poder ATX . . . . .	75
5.3. Especificaciones de voltajes de fuente de poder . . . . .	75
5.4. Esquema de conexión del teclado 3x3 . . . . .	76
5.5. Teclado matricial 3x3 . . . . .	76
5.6. Esquema de conexión del sistema fuente de luz . . . . .	77
5.7. Esquema de conexión del sistema de audio . . . . .	79
5.8. Forma de onda de las señales DATA y CLK . . . . .	81
5.9. Esquema de conexión del sistema consola . . . . .	82
5.10. Diagrama de pines del PIC16F628A . . . . .	82
5.11. Tarjeta de desarrollo EasyPic V7 . . . . .	84
5.12. PCB del sistema de control . . . . .	84
5.13. Modelo de diseño instruccional ADDIE. . . . .	85
5.14. Espacio de trabajo de <i>Adobe audition</i> . . . . .	89
5.15. Espacio de trabajo del <i>Audio somo converted</i> . . . . .	90
A.1. Plano de conjunto de la fuente de luz . . . . .	95
A.2. Vista estallada de la fuente de luz . . . . .	95
A.3. Plano de conjunto del subconjunto fuente de luz . . . . .	96
A.4. Vista estallada del subconjunto fuente de luz . . . . .	97
A.5. Plano de conjunto del subconjunto bandeja de experiencias . . . . .	98
A.6. Vista estallada del subconjunto Bandeja de experiencias . . . . .	99
A.7. Plano de conjunto del subconjunto armazón . . . . .	100
A.8. Vista estallada del subconjunto armazón . . . . .	101
A.9. Fotografías del Sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica . . . . .	102
B.1. Diagrama de flujo de la función teclado . . . . .	105
B.2. Diagrama de flujo de la función inicio_reset . . . . .	105
B.3. Diagrama de flujo de la función enviar_dato . . . . .	106
B.4. Diagrama de flujo de la función principal . . . . .	107
B.5. Diagrama de conexiones del sistema embebido. . . . .	108
B.6. Función principal del PIC16F628A . . . . .	111
B.7. Diagrama de flujo de las pistas de audio. . . . .	112

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# LISTA DE TABLAS

2.1. Clasificación de los museos . . . . .	10
2.2. Clasificación de los museos científico-tecnológicos . . . . .	11
2.3. Niveles de interactividad. . . . .	13
2.4. Clasificación de sistemas ópticos. . . . .	19
3.1. Descripción de atributos . . . . .	40
3.2. Criterios de evaluación. . . . .	41
3.3. Matriz de decisión. . . . .	42
4.1. Características del puntero láser . . . . .	46
4.2. Numero de rayos necesarios por experiencia . . . . .	50
5.1. Comandos del SOMO-14D . . . . .	80
B.1. Pista de audio de la experiencia <i>Instrucciones</i> . . . . .	112
B.2. Pista de audio de la experiencia <i>Ley de reflexión</i> . . . . .	115
B.3. Pista de audio de la experiencia <i>Ley de refracción o Ley de Snell</i> . . . . .	117
B.4. Pista de audio de la experiencia <i>Espejo cóncavo</i> . . . . .	119
B.5. Pista de audio de la experiencia <i>Espejo convexo</i> . . . . .	121
B.6. Pista de audio de la experiencia <i>Lente biconvexa</i> . . . . .	124
B.7. Pista de audio de la experiencia <i>Lente biconcava</i> . . . . .	125
B.8. Pista de audio de la experiencia <i>Reflexión interna total</i> . . . . .	127
B.9. Pista de audio de la experiencia <i>Prisma de ángulo recto</i> . . . . .	129



# INTRODUCCIÓN

El problema del aprendizaje formal de la ciencia es un tema de gran interés en la escuela Venezolana, la preocupación por esta temática se deriva de las limitaciones o dificultades que presentan los alumnos y alumnas que egresan de la escuela secundaria, los jóvenes egresados de estos centros de estudio expresan distintas carencias en el entendimiento de la física. Son muchos los factores a analizar para poder explicar la realidad del problema, pero, sin ir muy lejos, se puede determinar que los métodos para la enseñanza de la física aplicados en la escuela Venezolana hasta ahora no han logrado un resultado satisfactorio, ya que los mismos se han manejado como procesos mecánicos y repetitivos, además de la carencia de incluir experiencias de aprendizajes no formales en las primeras etapas, de forma que se vaya enriqueciendo la ciencia escolar con aspectos de la vida cotidiana.

Dentro de los contextos no formales de aprendizaje de la física merecen especial atención las visitas a instituciones (museos) y centros de interés científico; estos museos y centros de ciencias son considerados hoy en día como impulsores de la cultura científica en la ciudadanía, donde su función fundamental es exhibir productos que desde una óptica educativa se busca que la mera contemplación no sea su fin básico, sino que lo expuesto sea fuente de información y lleve al público a profundizar en los temas expuestos, convirtiéndolos en centros de aprendizajes activos, es decir, que posibiliten el descubrimiento y la investigación, a manera de evitar que el visitante sea un simple receptor.

La influencia que tiene la interactividad sobre nuestra civilización podemos hallarlas en el perfil de personas consideradas como inventores o genios, muy dadas a la creatividad y a la interacción con todo lo que los apasiona y les despierta interés. Tal vez Benjamín Franklin no sería tan famoso, de no haber experimentado el pararrayos sobre sí mismo o la Madame Curie no hubiera ganado dos premios Nobel si no experimentara la radiación desde muy cerca.

En consecuencia se hace necesaria la búsqueda de nuevas tecnologías en la enseñanza que estimulen en el estudiante, el empleo de la física como instrumento de percepción de la vida cotidiana. Es por ello que en el siguiente trabajo se presenta una propuesta al problema de enseñanza de la física a nivel secundario y diversificado mediante el *diseño y construcción de un sistema de interactivo de enseñanza de la óptica geométrica*, donde se demostrara de manera cualitativa las leyes de la óptica geométrica.

La importancia de sistemas como este, se basa en la búsqueda de llenar el vacío que

se tiene de recursos didácticos para la enseñanza de la física, haciendo uso de conocimiento adquiridos, la tecnología y la gran cantidad de información de la cual se dispone actualmente, así como la aplicación del modelo instruccional ADDIE el cual guiará al usuario durante la demostración. llegando a plantear el diseño y construcción de un sistema interactivo para la demostración de leyes físicas, específicamente Ley de Reflexión, Ley de Refracción y su aplicación en espejos y lentes.

La realización de este sistema esta inspirado en un prototipo manual, el cual involucra errores no deseados, en la mayoría de los casos no cuantificables, por ello para el diseño y construcción del sistema interactivo para la demostración de las leyes de la óptica geométrica, se busca automatizar la demostración haciendo uso de herramientas tecnológicas como los microcontroladores, teclado matriciales y dispositivos de audio. Otro punto fundamental es realizar una acertada elección de los materiales a usar en la construcción del sistema, teniendo en cuenta las especificaciones interactivas y las condiciones a la cual va a estar sometido, para que no se convierta en un equipo desechable.

El presente trabajo esta estructurado de la siguiente manera:

**Capítulo 1:** Se presenta el planteamiento del problema junto a su justificación, los objetivos a ser alcanzados y una breve descripción de la metodología adoptada para el desarrollo de este trabajo.

**Capítulo 2:** Muestra el marco teórico y el marco metodológico, así como también la descripción de algunos dispositivos electrónicos usados.

**Capítulo 3:** Describe la forma en que se aplicó la metodología para el desarrollo de esta investigación.

**Capítulo 4:** Expone el desarrollo del diseño óptico y mecánico y del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica, mediante el uso de software de diseño asistido por computadora (CAD).

**Capítulo 5:** De igual manera que en el capítulo anterior, en esté capítulo se desarrolla el diseño electrónico e instruccional del sistema interactivo, mediante programa de diseño CAD y software de edición de audio para las pistas de instruccionales.

# 1 CAPÍTULO

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

*Todos los grandes hechos y todos los grandes pensamientos  
tienen un comienzo ridículo – Albert Einstein*

### **1.1. El problema**

Actualmente las estructuras formales e informales en la educación venezolana se presentan problemas en los procesos de aprendizaje de las ciencias que ambas ofertan, en relación a esta problemática resulta difícil enumerar las causas de sus fallas, pero sin analizar profundamente el tema, podría decirse que una de las consecuencias de esta problemática, podría deberse a la falta de implementación de nuevas estrategias metodológicas en ambas estructuras o entre ambas.

Desde el punto de vista de las estructuras formales, en las escuelas venezolanas en cualquiera de sus niveles de educación, han estado aún orientadas bajo las directrices de la enseñanza tradicional, donde la enseñanza de conceptos sigue siendo el principal objetivo instruccional de los docentes venezolanos, estando estos presentados desde un punto de vista descriptivo, teniendo así poco efecto en el desarrollo intelectual de los educandos, donde lo más importante, aparentemente, es definir conceptos, no comprenderlos y presentados en su mayoría de manera verbal con la abstracción característica del pensamiento adulto, debido a la falta de recursos instruccionales e interactivos, de manera que el alumnado pueda obtener respuestas a sus interrogantes al interactuar con los recursos didácticos [González \(2017\)](#)

Por otro lado, en relación a las estructuras informales, específicamente los museos de ciencias venezolanos atraviesan una etapa de estancamiento en la forma de aproximación a sus audiencias, la publicidad en los medios tradicionales (radio, televisión, impresos) e Internet y las prácticas de las visitas guiadas no son suficientes, además de presentar sus exposiciones mediante el enfoque tradicional, que es mayormente el de contemplación de objetos. Por tanto, se hace necesario que los museos desarrollen estrategias para mejorar su contacto con los usuarios y una manera de lograrlo en implementando exposiciones interactivas que incentiven el aprendizaje activo en los estudiantes y usuarios del museo.

Ante esta realidad, Los estudiantes del centro de ciencias de la Escuela Básica Doctor Armando González Puccini se acercaron al Grupo de Enseñanza de la Física con inquietudes referentes a la óptica geométrica, sus leyes y la formación de imágenes, además de obtener información de cómo realizar un sistema interactivo para implementarlo en su museo escolar, a fin de poder tener un recurso educativo para el goce de los estudiantes y que además sirva como recurso didáctico para el profesorado.

A partir de la problemática expuesta se plantea la siguiente pregunta problema: ¿Es posible diseñar y construir un sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica desde una perspectiva didáctica y museística?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Diseño, construcción e implementación de un sistema interactivo para la enseñanza de la óptica geométrica.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Documentar información, metodologías de diseño y fabricación.
- Realizar prototipos en software de diseño CAD
- Seleccionar el prototipo a construir.
- Conocer el manejo de cada uno de los dispositivos de hardware que se van a implementar en el equipo.
- Realizar haciendo uso de software de programación el código que permita programar al PIC16F628A para el control del equipo.
- Realizar el diseño electrónico para el montaje del sistema electrónico.
- Grabar las pistas de audio, bajo la metodología del modelo instruccional ADDIE.
- Fabricar las partes o piezas mecánicas del sistema.
- Realizar el acople mecánico-electrónico del sistema.

## 1.3. Justificación

En la actualidad la ciencia y la tecnología son parte fundamental de la cultura y tanto las estructuras formales e informales de la educación coinciden en formar el pensamiento

científico de la ciudadanía, por tanto los procesos de aprendizajes deben ir evolucionando y mejorando día a día, mas aun si se trata de satisfacer y llenar las expectativas de los estudiantes que hacen vida en un plantel educativo, sobre todo si se tratan de materias como la Física que requieren complementarse con la practica mediante recursos o herramientas necesarios para que asimilen completamente los temas vistos en el aula de clase y de este modo llenar vacíos y facilitar la comprensión de fenómenos Físicos y es que en palabras de [García et al. \(2016\)](#) en su artículo “*Una experiencia didáctica en el diseño e implementación de objetos de aprendizaje para la enseñanza de la Física*” se evidencia que la implementación de objetos didácticos e interactivos tienen gran impacto en los niveles de motivación de los estudiantes en relación a los temas de movimiento ondulatorio y oscilatorio. También en palabras de [Wagensberg \(1998\)](#) la función de los museos de ciencias es tratar de poner al ciudadano en la piel del científico, proponiendo un método museístico al que llama “método de la emoción inteligible”. La idea es que el mismo método que se utiliza para comprender la ciencia se emplee en el museo para aproximarse a los conocimientos científicos. Una de las formas de lograrlo es buscando que el usuario controle el mayor número posible de grados de libertad del fenómeno expuesto, pero sin que esto afecte su comprensión. Dicho de otra forma, la verdadera interactividad se da cuando el visitante experimenta las emociones del científico al interactuar con las exhibiciones.

Es por ello, que se hace necesaria la implementación de equipos o sistemas para la demostración de leyes de la física en museos de ciencias; contruidos y diseñados desde una perspectiva interactiva. Por tal motivo quisimos hacer parte del Grupo para la Enseñanza de la Física, donde la creación, el diseño y la construcción de equipos o prototipos para la enseñanza de la física es la finalidad.

Nos proponemos entonces en el diseño y construcción de un sistema multi-funcional para la demostración de leyes físicas, específicamente la óptica geométrica, el cual proporciona tanto a los profesores como a los estudiantes la obtención de un recursos interactivo en respuesta al problema antes mencionado, pues favorece la realización de varias demostraciones en un solo equipo. Por otro lado, la metodología y el proceso en cual se fundamenta este trabajo, puede ser aplicado en futuros trabajos relacionados con el diseño de materiales interactivos para ser expuestos en museos de ciencias.

## 1.4. Hipótesis

El presente trabajo entra en la rama de investigación tecnológica, la cual consiste en hacer operativas ideas que físicamente o materialmente son realizables, por el contrario, las hipótesis son suposiciones de algo posible o imposible para obtener una conclusión de ello. Por lo tanto, no utilizamos hipótesis de investigación ya que el producto en estudio, será realizable en respuesta a una necesidad y no a una suposición acerca de la solución de un problema.

### 1.5. Antecedentes

Para apoyar la actual investigación se analizaron otros estudios, unas vinculadas a la implementación de nuevas tecnologías en los museos y otras al diseño y construcción de prototipos, cuyos aportes se consideran significativos para esta investigación, dado que enfatizan la importancia de la concepción de innovación y diseño de productos a ser expuestos en los museos de ciencias, además de caracterizar los criterios de interactividad en los museos, por otro lado, también fue necesaria la búsqueda de equipos comerciales, con la finalidad de observar la forma en que están diseñados y su funcionamiento.

En relación con los antecedentes vinculados con la presente investigación, se presentarán a continuación

[Bustamante \(2011\)](#) en su tesis titulada “La interactividad como herramienta repotencializadora de los museos. Caso: Museo Argentino de Ciencias Naturales” explora los nuevos campos de la interactividad que contribuirán a forjar una experiencia enriquecedora en los museos, cuestionando los modelos actuales en los museos, argumentando que necesario se hace convertir a los museos en zonas interactivas, más que de observación de objetos, planteando nuevas soluciones específicas, donde se da prioridad al diseño como herramienta diferenciadora.

[Morentin Pascual \(2012\)](#) en su trabajo de doctorado “Los museos interactivos de ciencias como recurso didácticos en la formación inicial del profesorado de Ed. Primaria” donde se intenta diseñar y desarrollar puentes entre los contextos formales y no formales de aprendizaje de las ciencias, preparando al profesorado antes de la vista y demostrando que la implementación de unidades didácticas mejorará la formación del alumnado.

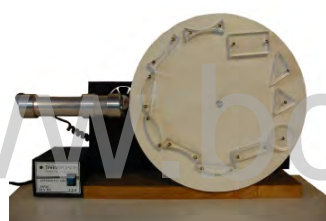
En comparación con los documentos anteriormente expuestos, se puede decir que el diseño de productos a ser presentados en museos escolares, será desarrollado bajo la filosofía productos interactivos y didácticos; así como también, éste será una herramienta altamente adaptada a las necesidades particulares de dicho producto a desarrollar, el cual le permitirá mantener una relación más cercana entre sus estudiantes y profesores, ya que contribuye a responder las exigencias específicas de interactividad.

Continuando en esta misma labor de investigación se encontró distintos trabajos que aportaran ideas, tanto de diseño como de metodologías que serán aplicadas en el desarrollo de este trabajo. En este sentido se tiene que el trabajo especial de grado titulado “Diseño e implementación de equipo didáctico, interactivo, auditivo y visual, para el reconocimiento y aprendizaje de el aparato reproductor masculino y femenino, para niños de la fundación IPCA” presentado por [Sigua Salinas \(2014\)](#), el cual tiene por objetivo el diseño y elaboración de un equipo didáctico e interactivo, con la intención de educar a los niños con y sin discapacidad en temas relacionados con la educación sexual. De igual manera el trabajo presentado por [Bohórquez et al. \(2012\)](#) titulado “Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física” donde se expone el diseño y la fabricación de un prototipo autónomo para su

uso en laboratorios de física, el cual implementa ciertos dispositivos electrónicos, en los que se encuentran: microcontroladores, pantallas LCD, teclados matriciales y diversos sensores. Realizándose este prototipo con la finalidad de aportar al continuo desarrollo del grupo DICOPED en la búsqueda del desarrollo de equipos autónomos, compactos, de bajo costo, y confiables para la demostración experimental de las leyes físicas en los laboratorios de física.

Otro de los trabajos que fue revisado y analizado fue el presentado por Jiménez (2010) titulado “El proceso de diseño de exposiciones interactivas en los museos de ciencias” que en pocas palabras expone la metodología del proceso de diseño de equipos a ser presentados en museos, esta investigación es de gran valía para el desarrollo de este trabajo ya que nos muestra el camino a seguir en el desarrollo del prototipo interactivo de óptica geométrica.

Por ultimo, entre las investigaciones relacionadas con el desarrollo del sistemas interactivo de óptica geométrica, fueron tomadas algunas ideas de equipos comerciales ya existentes, que sirvieron como base en el diseño de dicho sistema interactivo, ver figura (1.1)



(a)Mini banco optico producido por ciencia prima



(b)Banco optico producido por Francisco H. Walz S.C.A.

Figura 1.1: Equipos usados como referencia en el diseño del sistema

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



# 2 CAPÍTULO

## **MARCO TEÓRICO E INSTRUMENTAL**

*Si no conozco una cosa, la investigaré - Louis Pasteur*

El diseño y desarrollo de un sistema interactivo para la enseñanza y divulgación de la óptica geométrica para un museo, conlleva un arduo trabajo para realizar el mismo, por tanto se hace necesaria la búsqueda intensiva de términos, metodologías de diseño y nuevas tecnologías aplicadas en los museos, así como también, hacer uso de circuitos electrónicos y diseño gráfico con la finalidad de elevar el nivel de interacción máquina-hombre en dicho sistema. Es por ello que en este capítulo se presenta a modo de resumen la información mas relevante que será usada durante el desarrollo del sistema interactivo de óptica geométrica.

### **2.1. El museo**

Cuando se trata de desarrollar prototipos interactivos para la enseñanza de leyes físicas desde la perspectiva de los museos, resulta imprescindible entender con exactitud el concepto de museo y las características que poseen sus exhibiciones para poder enfocar el siguiente desarrollo de manera objetiva con los procesos de diseño de exposiciones interactivas en los museos de ciencias, además de establecer estrategias didácticas para una apropiación mas real de los contenidos. La definición de museos generalmente ha sido la de un espacio donde se adquieren, conservan y exhiben colecciones de gran valor cultural, tal y como se define en el DRAE, sin embargo, los museos actualmente han pasado a tener un papel mucho más importante que el anterior mencionado.

El **ICOM (2007)** (Consejo Internacional de Museos) nos da una nueva definición de museos en sus estatutos afirmando que: *Un museo es una institución permanente, sin fines de lucro, al servicio de la sociedad y abierta al público, que adquiere, conserva, estudia, expone y difunde el patrimonio material e inmaterial de la humanidad con fines de estudio, educación y recreo.* Las definiciones emanadas del ICOM determinan los ejes teóricos en los que se basa el museo de la actualidad. De esta manera los museos son espacios de aprendizaje, que invitan tanto al pensamiento y la reflexión como a la

imaginación.

### 2.1.1. Tipología de los museos

Actualmente los museos tienen diferentes tipos de clasificaciones de acuerdo al público que atienden, alcance geográfico, sus temas y colecciones, entre otras categorías. El [ICOM \(2007\)](#) nos permite apreciar diferentes clasificaciones y estas se dan de la siguiente manera:

Tipo	Especificación
Respecto al alcance geográfico	Son los museos cuyas colecciones particulares o generales dentro de una especialidad, tienen distintos alcances. Entre ellos se encuentran los museos internacionales, nacionales, regionales y locales.
Respecto a la densidad y homogeneidad de la colección	Son los museos que poseen colecciones de diferente naturaleza o correspondientes a un determinado tipo y/o periodos. Entre ellos se encuentran los museos generales y los especializados.
Respecto al carácter jurídico de la institución	Se refiere a los museos que poseen colecciones ya sean propiedad del Estado o de instituciones y coleccionistas privados. Entre ellos se encuentran los museos públicos y privados.
Respecto a la naturaleza de la colección	Se refiere al índole o la divulgación de la colección. Entre ellos se encuentran los museos de arte, historia, antropología y de ciencia y tecnología

Cuadro 2.1: Clasificación de los museos

Existen otro tipo de clasificaciones como las que proponen María Pastor y Ten Ros. Por un lado [Pastor María \(2004\)](#) habla sobre dos clases de museos: aquellos que se ubican en centros cerrados (museos de arte, bibliotecas, archivos, videotecas, hemerotecas, etc.), y los ubicados en espacios abiertos, (monumentos, edificios, yacimientos arqueológicos, elementos arquitectónicos, jardines botánicos, parques naturales, objetos ubicados fuera del edificio museístico, esculturas). Por otro lado, [Ten Ros \(2001\)](#) plantea una clasificación de museos científico-tecnológicos por generaciones las cuales se resumen en la tabla (2.2)

Este trabajo se va a centrar en los museos de tercera y cuarta generación, llamados también, museos de ciencia y tecnología, dado que éstos, se dedican particularmente a presentar las leyes y los principios universales y fenómenos científicos, de forma que trascienden en el tiempo y el contexto, es decir, sólo exhiben ideas y conceptos, no objetos, y el visitante interactúa con los módulos utilizando sus sentidos.

Museos	Características
Primea generación	Centrados en coleccionar objetos raros, preciosos u obras maestras de la naturaleza o el hombre.
Segunda generación	Son de carácter tecnológico. Nacieron durante la Revolución Industrial, con una disposición pedagógica dirigida a las clases artesanas.
Tercera generación	Conocidos como centros de ciencia. Son centros interactivos en los que el objeto, cede su primacía a las experiencias.
Cuarta generación	Identificados como parques temáticos de carácter científico, como los parques naturales o espacios naturales protegidos que, en el siglo XIX, fueron dotados de precisas indicaciones científicas, recorridos programados, aulas de ayuda y otros recursos pedagógicos.
Quinta generación	Llamados museos virtuales, en los que el objeto físico concreto, ubicado en un lugar determinado, dejó de ser relevante.

Cuadro 2.2: Clasificación de los museos científico-tecnológicos

### 2.1.2. La Interactividad

Al tratar de definir el termino interacción, es recomendable ir a sus orígenes (interacción entre seres humanos), lo que lleva ineludiblemente a la teoría de la comunicación en sus conceptos más básicos. Según Harold D. Lasswell<sup>1</sup>, en todo proceso comunicativo se distinguen cuatro conceptos que hacen posible la comunicación: el emisor, el receptor, el mensaje y el medio o canal.

En una conversación entre dos personas se cumplen los dos requisitos básicos para que haya interactividad, en primer lugar no existe linealidad en el desarrollo del mensaje, esté tomar cualquier camino dependiendo de los emisores/receptores que en todo momento intercambian papeles, esto se ve no solo en el medio tradicional de la voz, sino también en conversaciones escritas

Existen diferentes definiciones del termino interactividad, por un lado [Liu and Shrum \(2002\)](#) describe la interactividad como: *el grado en el que dos o más partes en una comunicación pueden actuar una sobre la otra, ya sea en el medio de comunicación, en los mensajes y en el grado en que tales están sincronizados*. Por otro lado, [Bedoya \(1997\)](#), define la interactividad como: *La capacidad del receptor para controlar un mensaje no-lineal hasta el grado establecido por el emisor, dentro de los limites del medio de comunicación asincrónico*.

<sup>1</sup>Harold Dwight Lasswell, Connecticut 1902-1978, pionero en ciencias politicas y teorías de la comunicación, considerado padre de la comunicación y los inicios de los medios comunicativos.

En muchas ocasiones, resulta complejo determinar qué es y qué no es interactivo, pero al tener claro el concepto es posible distinguir objetivamente cuando algo es interactivo, ya que muchas implementaciones nuevas, sobre todo tecnológicas, han rebatido este concepto; que algo sea no-lineal, no implica que sea interactivo, que se puede escoger dos o mas caminos en el transcurso de un actividad tampoco es necesariamente interactivo; el solo hecho de que haya un guión preestablecido en algo, hace que difícilmente se pueda relacionar con algo verdaderamente interactivo en la medida que el receptor sea limitado a no pensar y no actuar en una manera que podría darle muchas nuevas perspectivas al producto, medio o mensaje.

Para que algo sea interactivo es importante que posea ciertas cualidades, tales como la posibilidad de retroalimentación, el control, creatividad, comunicación y la capacidad de adaptación.

- La retroalimentación esta implícita en la definición de interactividad como un factor fundamental, de no existir este esquema de doble vía donde el receptor se pueda convertir en transformador y pueda imprimir su marca particular al mensaje, no podría haber interacción.
- El detalle del control en esta labor, va encaminada a administrar un orden, que pueda permitir al usuario recibir una experiencia que lo incentive a despertar los demás factores que impliquen una buena retroalimentación.
- La creatividad dentro de lo interactivo no solo debe ser algo intrínseco, debe ser un proceso que permita e incentive al receptor a poner su marca personal, única y por lo tanto, genuina a la hora de implementar el concepto de interactividad.
- La capacidad de adaptación se refiere a la mutabilidad del elemento interactivo para nutrirse y reformarse de acuerdo con la retroalimentación dada, por lo cual es primordial garantizar la flexibilidad, la observación constante y el ambiente para que estas ideas se materialicen en el resultado final.

De estas cualidades podemos deducir que una conversación, un juego de fútbol, construir y decorar una casa, todo tipo de juegos y otras actividades (donde existan la retroalimentación, control, creatividad, comunicación, capacidad de adaptación) son totalmente interactivas.

### 2.1.3. Niveles de Interactividad

La interactividad no es algo absoluto, aunque podemos decir que algunas cosas son interactivas y otras no lo son, en la mayoría de los casos existen ciertos grados o niveles de interactividad, por un lado [Carter and Donovan \(2007\)](#), definen claramente cuatro grados de interactividad en el desarrollo de sistemas interactivos eLearning. Otra clasificación de los niveles de interactividad propone las siguientes categorías: interacción pasiva,

interacción limitada, interacción compleja e Interacción en tiempo real. Estos niveles tienen su origen en un documento [Department of Defense \(1999\)](#), donde se detalla la respectiva descripción, conocimiento y actitudes para cada nivel, y además se indica la forma de su evaluación y las pautas para la elaboración de productos multimedia y no multimedia interactivos. En la tabla (2.3) se describen estos cuatro niveles de interactividad.

Nivel	Apelativo	Características
1	Pasivo	El usuario actúa como un simple receptor de información. Logra interactuar simplemente usando los botones de navegación para desplazarse hacia adelante o hacia atrás a través del programa
2	Interacción limitada	El usuario puede dar respuestas simples según las indicaciones de la instrucción.
3	Interacción compleja	El usuario realiza múltiples y variadas respuestas a las instrucciones. Se posibilita la entrada de cuadros de texto y la manipulación de objetos gráficos para probar la evaluación de la información presentada.
4	Interacción en tiempo real	El usuario participa en una simulación que refleja exactamente la situación de trabajo.

Cuadro 2.3: Niveles de interactividad.

#### 2.1.4. Interactividad en los Museos

El museo es un espacio de educación informal, a través del cual se pretende que el alumnado y la población en general adquieran conocimientos a través de métodos que generan un complemento a la educación formal. Si este espacio cultural y educativo se presenta como un espacio de recreación y aprendizaje, la palabra recreación definida como el momento en el que las personas aumentan su riqueza personal, en el que la interactividad tiene un lugar privilegiado y el diálogo es más ágil y divertido, el museo tendrá con seguridad cumplida su meta de divulgación.

Si bien es cierto que el éxito de los museos interactivos radica principalmente en la forma de divulgar la ciencia a través de herramientas divertidas, es importante relacionar también que este tipo de museos ofrecen espacios interesantes para la comunicación y el aprendizaje. En estos espacios lo importante no solo es ver, sino integrarse en la exposición a través de una experiencia multisensorial, manipular los contenidos, generar conclusiones, exponerlas en el mismo espacio comunicativo y llevárselo consigo.

La relación entre museo y tecnología se está haciendo cada vez más estrecha, ya que muchos museos no se limitan al espacio físico, siendo de alguna manera los espacios

arquitectónicos y virtuales complementarios. Cuando hablamos del concepto de museo interactivo, nos podemos encontrar con dos ideas, que en algún momento pueden llegar a ser nociones complementarias:

- El museo virtual: conocido también como museo digital o museo on-line, y que nos puede evocar al “Museo Imaginario” de André Malraux, en donde la muestra física ahora es transportable, itinerante e imaginaria, es un entorno digital de acceso a través de Internet que tiene la principal característica de la interactividad. Como ejemplo de museos que podemos visitar de manera virtual, se tienen: Museo del Prado, Louvre y Guggenheim, por mencionar solo algunos.
- Museo interactivo (in situ): es el uso de las herramientas tecnológicas para crear un diálogo con el visitante a través de pantallas interactivas, juegos de video, audiovisuales, herramientas táctiles y/o sonoras.

## 2.2. Marco teórico conceptual

### 2.2.1. ¿Que es la óptica geométrica?

En general, la óptica describe la propagación de la luz a través de los materiales o del vacío. Todos los materiales a través de los cuales se puede propagar la luz se llaman transparentes; en caso contrario, se denominan opacos. En el caso de la óptica geométrica, para hacer esta descripción de la propagación de la luz se parte de unas hipótesis o suposiciones sencillas.

La **óptica geométrica** es la parte de la óptica que se ocupa de describir el comportamiento de la luz sin plantearse qué es exactamente y considerando que:

- La luz se mueve en línea recta entre dos puntos de un medio transparente.
- La luz está sometida a unas leyes concretas (obtenidas empíricamente, es decir, a partir de experimentos) que determinan su comportamiento cuando llega a la separación entre dos medios.

Normalmente, en óptica geométrica la propagación de la luz se considera en términos del concepto de **rayo**.

Un **rayo** es la línea que sigue la luz en su propagación a través un medio transparente

Una vez definido el concepto de *rayo*, las dos suposiciones que hemos establecido hace un momento serán, más concretamente:

- Los rayos se propagan en línea recta entre dos puntos de un mismo medio transparente.
- Cuando los rayos llegan a la superficie que separa dos medios, cumplen unas leyes obtenidas experimentalmente que estudiaremos en las secciones (2.2.3) y (2.2.4) respectivamente.

Hay que decir qué, la óptica geométrica es siempre una buena aproximación cuando la longitud de onda es muy pequeña comparada con las dimensiones de los objetos con los que interactúa la luz. Esta condición se cumple en la mayoría de aplicaciones ópticas tradicionales.

### 2.2.2. Índice de refracción

Para caracterizar los medios transparentes<sup>2</sup>, necesitamos alguna característica definitoria. Una posible característica del medio, en cuanto a la propagación de la luz, es la velocidad de la luz en ese medio. Como esta velocidad tiene siempre un valor muy grande, los medios transparentes suelen caracterizarse mediante una magnitud llamada índice de refracción.

El **índice de refracción** de un medio,  $n$ , es igual al cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío,  $c_0$ , y la velocidad de propagación de la luz en aquel medio,  $c$

Como el índice de refracción es el cociente de dos velocidades, se trata de una magnitud adimensional (es decir, que no se expresa con ninguna unidad). Por otro lado, a partir de la definición, el índice de refracción del vacío es precisamente  $c_0/c_0$ , es decir 1.

### 2.2.3. Ley de reflexión

Se entiende por reflexión de la luz, al cambio de dirección que experimenta la luz cuando choca con un objeto y rebota, gracias a ella nos hace posible que veamos objetos que no emitan luz propia.

Cuando un rayo incide de manera oblicua sobre una superficie, genera un plano de incidencia imaginario y forma un ángulo respecto a la normal<sup>3</sup>, llamado *ángulo de incidencia* y denotado por  $\theta_1$  en la figura (2.1), luego este rayo es reflejado formando un

<sup>2</sup>Medios por donde se puede propagar la luz.

<sup>3</sup>La normal es una línea perpendicular a la superficie en el punto donde el rayo incidente cae en la superficie.



ángulo  $\theta'_1$  respecto a la normal denominado *ángulo de reflexión*. Experimentos y teoría muestran que el rayo reflejado, la normal y el rayo incidente se encuentran en el plano de incidencia, además de que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

$$\theta'_1 = \theta_1 \quad (2.1)$$

Esta correspondencia entre el ángulo de incidencia y reflejado, es conocida como **ley de reflexión**. No obstante, habitualmente no observamos un único rayo que incide sobre una superficie, sino que observamos muchos, procedentes de una o mas fuentes de luz. Es por ello que se distinguen dos tipos de reflexión como se muestra en la figura (2.2)

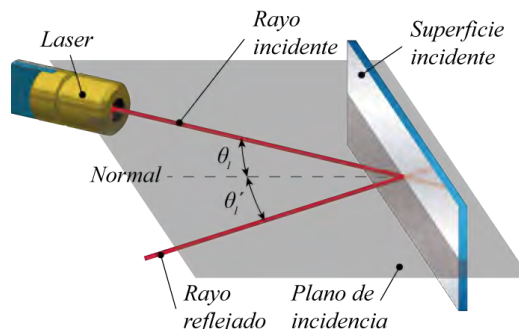


Figura 2.1: Ley de Reflexión

- **Reflexión Especular:** La Superficie (donde se refleja la luz) es lisa y los rayos que se reflejan salen en igual dirección: Un ejemplo son los espejos planos.
- **Reflexión Difusa:** La Superficie es rugosa, por lo que los rayos se reflejan en todas direcciones. No se consigue generar imágenes, pero nos permite ver los cuerpos opacos desde cualquier ángulo.

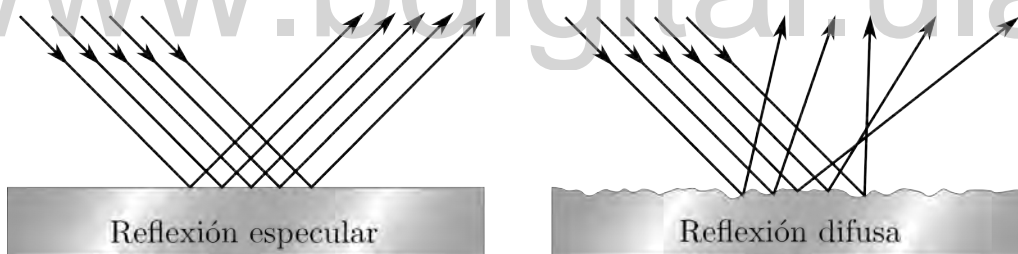


Figura 2.2: Tipos de reflexión

### 2.2.4. Ley de refracción

Cuando un rayo luminoso incide sobre la superficie de separación entre dos medios transparentes homogéneos, una parte del rayo incidente se refleja y se queda en el medio de donde provino y la otra parte se transmite al otro medio tomando una nueva dirección, es decir, desviándose. Se dice que al pasar de un medio al otro el haz luminoso se refracta.

El ángulo formado por el rayo incidente y la normal  $N$  es el *ángulo de incidencia*  $\theta_1$ ;  $\theta_2$  es el ángulo formado por el rayo refractado y la normal, es el *ángulo de refracción*, ver figura (2.3).

Se puede demostrar que entre los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  y las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  de la luz en los medios 1 y 2, respectivamente, existe la siguiente relación:



$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.2)$$

Por definición  $n_1 = c/v_1$  y  $n_2 = c/v_2$  donde  $c$  es la velocidad de propagación de la luz en el vacío. De aquí se deduce que:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Por lo tanto, la igualdad (2.2) puede escribirse como:

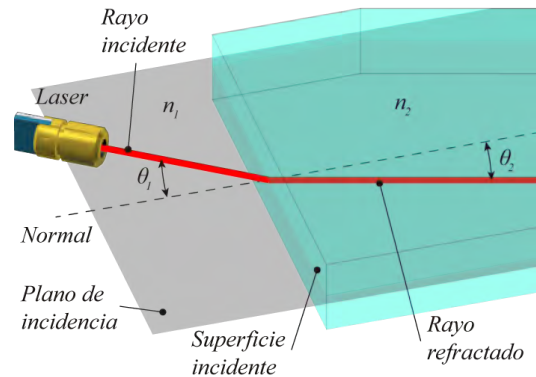


Figura 2.3: Ley de Refracción

$$n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2 \quad (2.3)$$

Que es la expresión matemática de la *Ley de refracción de Snell* que afirma:

Cuando se refracta un rayo luminoso se cumple:  $n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$ . El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia se encuentran en el mismo plano.

Entonces según la ley de Snell el ángulo de refracción es menor que el ángulo de incidencia para un rayo que pasa del medio menos denso al medio más denso, es decir, el rayo se desvía hacia la normal. Si la luz se propaga del medio más denso al medio menos denso el rayo refractado se desvía alejándose de la normal.

De la ecuación (2.2) se desprende que, siendo el ángulo de incidencia igual a cero ( $\theta_1 = 0$ ), será también igual a cero el ángulo de refracción ( $\theta_2 = 0$ ), ya que  $v_1/v_2 \neq 0$ , lo que significa, que el rayo que incide perpendicularmente a la superficie de separación de los medios, no se refracta al pasar de un medio al otro.

### 2.2.5. Reflexión interna total

La reflexión interna total es un fenómeno interesante que se presenta cuando un rayo de luz se refracta de un medio a otro medio de menor índice de refracción que el primero, donde el rayo se aleja de la normal a la superficie. En la figura (2.4) se expone el proceso.

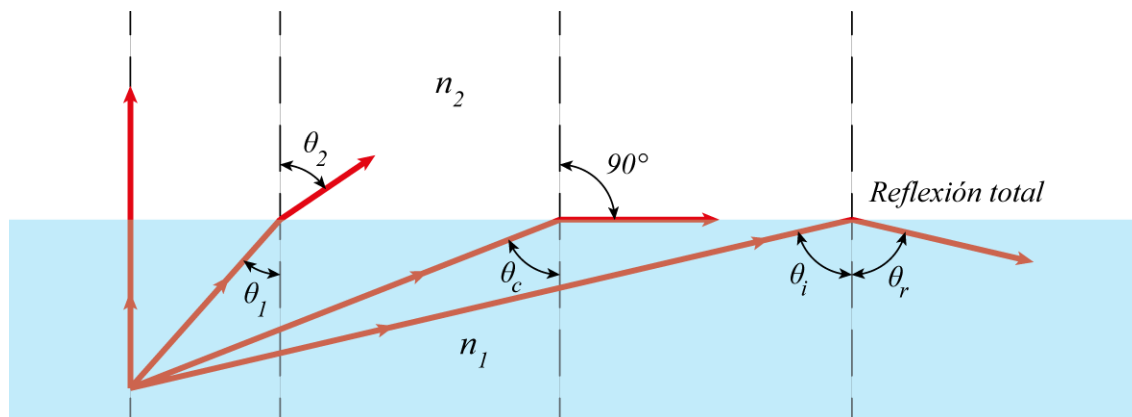


Figura 2.4: Reflexión interna total

A medida de que el ángulo de incidencia aumenta respecto a la normal de la superficie que separa los dos medios, llegará el momento en que, para cierto ángulo de incidencia el rayo refractado saldrá con un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la normal, es decir, saldrá paralelo a la superficie, luego si aumentamos aun mas el ángulo de incidencia, según la ley de Snell, el ángulo de refracción debería ser mayor a  $90^\circ$  lo que significaría volver al medio original.

Así pues, a partir de un cierto ángulo de incidencia, no hay luz refractada que pase al segundo medio y toda la luz se refleja produciéndose así la reflexión interna total, el ángulo de incidencia donde el rayo sale a  $90^\circ$  respecto a la normal, es el ángulo crítico el cual simbolizaremos con  $\theta_c$ , el cual se obtiene mediante la ecuación de la ley de Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Ahora imponemos que  $\theta_1 = \theta_c$  y que  $\theta_2 = 90^\circ = \pi/2$  se tiene que:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin(\pi/2)$$

De aquí despejamos  $\theta_c$  y obtenemos la ecuación del ángulo crítico para la reflexión interna total.

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.4)$$

### 2.2.6. Sistemas ópticos

En esta ocasión se dará una breve descripción de los sistemas ópticos existentes que podrían ser expuestos en el sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica, siendo este apartado de gran valía para la elección, diseño y fabricación de los sistemas

ópticos (Lentes y espejos). Antes de exponer dichos sistemas ópticos es importante tener en cuenta ciertas definiciones para mayor entendimiento del mismo.

En primer lugar, en la óptica geométrica un sistema óptico es definido como:

Un conjunto de superficies que separan medios con distintos índices de refracción, donde estas superficies pueden ser reflectantes (Espejos) ó refractantes (Lentes)

Donde su clasificación es de la siguiente manera:

Sistema óptico	Descripción
Dióptrico	Son sistemas en los que solo se emplean lentes
Catóptrico	Sistemas donde solamente son empleados espejos
Catadióptrico	Sistemas conformados por espejos y lentes

Cuadro 2.4: Clasificación de sistemas ópticos.

En nuestro caso en el (sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica) solo se implementaran los sistemas catóptricos y dióptricos, puesto que serán los sistemas necesarios para la demostración de la ley de reflexión y refracción.

En segundo lugar, cabe resaltar que todas las demostraciones en la óptica geométrica se fundamentan en la aproximación paraxial, la cual consiste en suponer que todos los rayos de luz que penetran en un sistema óptico, lo hacen con ángulos pequeños respecto al eje óptico del sistema óptico, de manera que son validas las aproximaciones  $\sin(\theta) \approx \theta$ ,  $\cos(\theta) \approx 1$  y  $\tan(\theta) \approx \theta$ .

Por ultimo se definen las principales partes o elementos cardinales de los sistemas ópticos

- Eje óptico: es una linea imaginaria que pasa por los centros de curvatura del sistema óptico.
- Punto focal objeto e imagen ( $F$  y  $F'$ ): el punto focal objeto  $F$ , es un punto situado sobre el eje óptico que tiene la propiedad de que todos los rayos procedentes de el, y que penetran el sistema óptico, salen paralelos al eje óptico, por otro lado el punto focal imagen  $F'$ , de igual manera esta situado sobre el eje óptico y tiene la

propiedad de que todos los rayos que penetran en el sistema óptico paralelos al eje óptico, salen de forma que convergen en el punto focal imagen.

- Puntos y planos principales ( $H$  y  $H'$ ): se llama planos principales a un par de planos imaginarios conjugados (objeto e imagen) perpendiculares al eje óptico, en donde el aumento lateral vale la unidad. El plano principal objeto  $H$  corta al eje óptico en el punto principal objeto y el plano principal imagen  $H'$  corta al eje óptico en el punto principal imagen. Cabe resaltar que en el caso de lentes delgadas dichos planos se solapan formando así, el centro óptico del sistema.
- Distancia focal: existen dos distancias focales, una es la longitud comprendida entre el punto focal objeto y el plano principal objeto y la comprendida entre el punto focal imagen y el plano principal imagen. En el caso de lentes delgadas, la distancia focal es la comprendida entre los puntos focales y el centro óptico.

### 2.2.6.1. Sistemas catóptricos

Como se dijo anteriormente, este tipo de sistemas están conformados por espejos, los cuales forman imágenes mediante la ley de reflexión, donde la geometría del espejo juega un papel importante en la formación de dichas imágenes, las cuales pueden ser reales o virtuales.

Es importante señalar que para el diseño y construcción de tales sistemas ópticos, es imprescindible el estudio de la formación de imágenes, puesto que ello aportara la expresión que se conoce como la **ecuación del espejo**, teniendo en cuenta que dicho estudio no se desarrollara en el sistema interactivo como parte de las demostraciones, debido a la complejidad que amerita al implementarlo en el sistema interactivo de enseñanza de óptica geométrica.

#### Espejos planos

Este es el tipo de espejos más simple, donde es posible comprender la formación de imágenes, a partir del análisis de los rayos bajo el modelo de la reflexión. En la figura (2.5) se expone lo que un observador vería en el espejo plano.

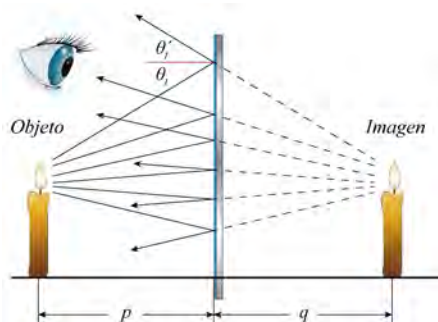


Figura 2.5: Espejo Plano

Imaginemos que se coloca una vela en frente al espejo plano a una distancia  $p$ , los rayos de luz que parten de la llama salen en todas direcciones, cuando estos rayos llegan al espejo, se reflejan en ángulos iguales a sus ángulos de incidencia, por tanto los rayos divergen del espejo, esos rayos parecen emanar de determinado punto detrás del espejo (donde las líneas punteadas se intersecan).

Entonces un observador ve una imagen de la llama en ese punto. En realidad, los rayos de luz no provienen de ese punto, por lo que se dice que es una *imagen virtual*, estando la imagen tan atrás del espejo como lo está la vela delante del espejo, por tanto,  $p = q$  y siendo ambas velas u objeto e imagen del mismo tamaño, lo que acarrea un aumento lateral de la unidad.

## Espejos curvos

Una vez descrito el caso de espejo más simple, el espejo plano, es hora de pasar a los espejos curvos, los cuales presentan curvatura en la parte reflectante, aunque son posibles varias curvaturas como esférica, cilíndrica o cónica, en este desarrollo se restringirá a los espejos con curvatura cilíndrica.

Entre los espejos curvos se encuentran los espejos cóncavos (convergentes) y los convexos (divergentes), donde los espejos cóncavos la superficie reflectante se encuentra curvada hacia adentro y en los convexos presenta curvatura hacia afuera. Ahora respecto a la formación de imágenes en los espejos curvos, en general estos tipos de espejos formarán distintas imágenes dependiendo de la posición en que se encuentre el objeto y dicha posición se puede obtener mediante la ecuación del espejo, conociendo el radio de curvatura  $R$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \quad (2.5)$$

De igual manera que en los espejos planos,  $p$  es la distancia comprendida entre el objeto y el vértice del espejo y  $q$  es la distancia de la imagen hasta el vértice del espejo. De la ecuación (2.5), se observa que si el objeto se encuentra muy lejos del espejo,  $p$  es mucho más grande que  $R$  entonces se puede decir que  $p$  tiende a infinito, por tanto  $1/p \approx 0$ , de manera que, de la ecuación (2.5) se desprende  $q = R/2$ , así que, cuando el objeto está muy lejos del espejo, la imagen se formará en el punto focal imagen  $f = R/2$ , como se muestra en la figura (2.6), de manera que la ecuación (2.5) se puede reescribir como:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2.6)$$

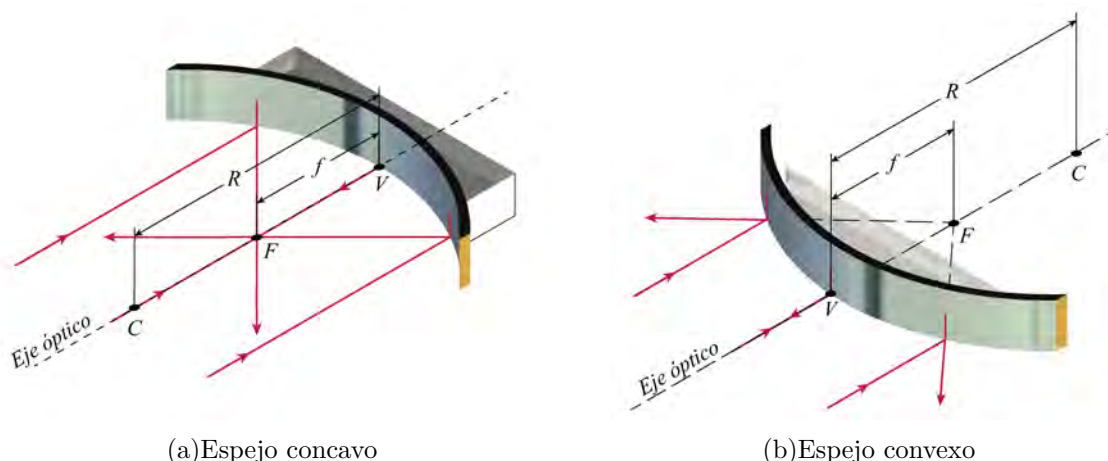


Figura 2.6: Tipos de lentes

### 2.2.6.2. Sistemas dióptricos

Los sistemas dióptricos, son aquellos sistemas que están formados por lentes y los cuales formaran imágenes bajo la refracción de los rayos luminosos siguiendo la ley de Snell, donde la geometría de la lente así como la posición del objeto, juegan un papel importante en la formación de dichas imágenes, que al igual que en los espejos pueden ser reales o virtuales.

#### Lentes

Si bien es cierto, la utilización de un dioptrio<sup>4</sup> es suficiente para la formación de imágenes bajo refracción, pero no sería práctico para aplicaciones cotidianas puesto que el dioptrio forma imágenes dentro de sí y no en el mismo medio en el que se encuentra el objeto. Es por ello que necesitamos dos dióptrios que nos delimiten el sistema óptico. Esto es precisamente lo que se entiende por lente.

Una lente es un sistema óptico formado por dos o más dióptrios, de los cuales al menos uno presenta curvatura en su superficie y que delimitan un medio determinado.

Existen diferentes tipos de lentes, pero en general se pueden resumir en dos grupos, a saber: las lentes convergentes y divergentes, donde las lentes convergentes son más gruesas en su centro y las divergentes más finas, además de la existencia de lentes gruesas y delgadas. En concreto, se describirá las lentes delgadas cuyo grosor se considera irrelevante. En la figura (2.7) se exponen dichos grupos y las geometrías de las lentes.

<sup>4</sup>Un dioptrio es un sistema óptico formado por una sola superficie que separa dos medios de distinto índice de refracción

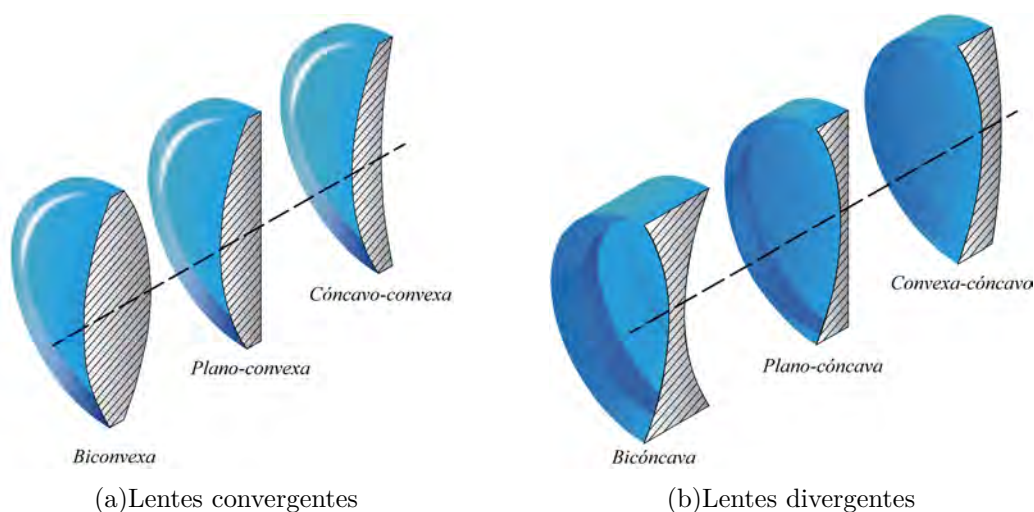


Figura 2.7: Tipos de lentes

Para el diseño y construcción de dichas lentes, ya sean convergentes o divergentes, estas se rigen por la ecuación conocida como **la ecuación del fabricante de lentes** (2.7), la cual indica la relación entre la distancia focal  $f$ , el índice de refracción  $n$  de la lente y sus radios de curvatura  $R_1$  y  $R_2$  y se escribe de la siguiente manera:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (2.7)$$

En cuanto a la formación de imágenes en lentes, la ecuación (2.7) se puede escribir en función de las distancias objeto e imagen, formulando así la ecuación conocida como **la ecuación de las lentes delgadas**, la cual resulta ser idéntica a la ecuación de los espejos y de igual manera, cuando el objeto se encuentra en el infinito, los rayos convergerán en el punto focal imagen del sistema óptico como se expone en la figura (2.8).

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2.8)$$

## 2.3. Marco teórico instrumental

### 2.3.1. Microcontrolador PIC-16F628A

Inicialmente cuando no existían los microprocesadores las personas se ingeniaban en diseñar sus circuitos electrónicos y los resultados estaban expresados en diseños que implicaban muchos componentes electrónicos y cálculos matemáticos. Un circuito lógico básico requería de muchos elementos electrónicos basados en transistores, resistencias,



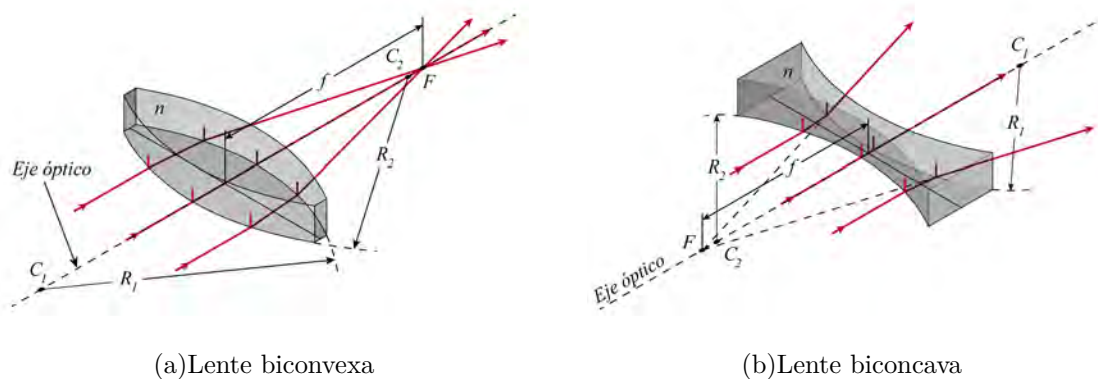


Figura 2.8: Tipos de lentes

etc... lo cual desembocaba en circuitos con muchos ajustes y fallos; pero en el año 1971 apareció el primer microprocesador el cual originó un cambio decisivo en las técnicas de diseño de la mayoría de los equipos.

Al principio se creía que el manejo de un microprocesador era para aquellas personas con un coeficiente intelectual muy alto; por lo contrario con la aparición de este circuito integrado todo sería mucho más fácil de entender y los diseños electrónicos serían mucho más pequeños y simplificados. Entre los microprocesadores más conocidos tenemos el popular Z-80 y el 8085. Los diseñadores de equipos electrónicos ahora tenían equipos que podían realizar mayor cantidad de tareas en menos tiempo y su tamaño se redujo considerablemente; sin embargo, después de cierto tiempo aparece una nueva tecnología llamada microcontrolador que simplifica aun más el diseño electrónico.

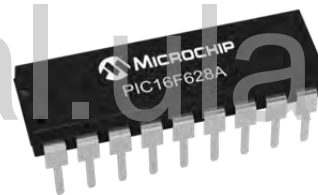


Figura 2.9: PIC16F628A

Un **microcontrolador** es un circuito integrado programable basado en un microprocesador; es decir, contiene en un solo integrado la unidad de procesamiento, la memoria RAM, la memoria ROM, los puertos de entrada y salida y otros periféricos, para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. Palacios Municio et al. (2009)

El **PIC16F628A** por sus siglas (Peripheral Interface Controller) ver figura (2.9), es un microcontrolador muy conocido de la compañía *Microchip Technology Inc.* Dispone de todos los componentes disponibles en la mayoría de los microcontroladores modernos. Por su bajo precio, un rango amplio de aplicaciones, alta calidad y disponibilidad, es una solución perfecta aplicarlo para controlar diferentes procesos en la industria, en



dispositivos de control de máquinas, para medir variables de procesos etc.

Este dispositivo se puede considerar el núcleo del proyecto debido a que es el instrumento que rige el comportamiento del diseño electrónico, es decir, es el cerebro del equipo que se pretende desarrollar, controlando la reproducción de las pista de audio, el encendido y apagado de la fuente de luz.

### 2.3.2. Reproductor de audio SOMO-14D

El SOMO-14D es un dispositivo de reproducción de todo tipo de sonidos y música previamente almacenados en una tarjeta micro-SD, ver figura (2.10). El modulo soporta archivos de audio ADPCM de 4 bits con muestreos que van desde 6  $KHz$  hasta 32  $KHz$ . Mediante la aplicación gratuita **SOMO Audio Converter** para Windows, de esta manera cualquier archivo WAVE (.wav) o MP3 (.mp3) pueden ser convertidos fácilmente a formato ADPCM (.ad4) y grabarlos sobre la tarjeta micro-SD para su posterior reproducción.



Figura 2.10: Dispositivo reproductor de audio SOMO-14D

El pequeño tamaño del SOMO-14D en su encapsulado de 14 pines lo hace ideal para cualquier aplicación donde se requieran sistemas de audio embebido. Este dispositivo de reproducción de audio SOMO-14D ofrece dos modos de funcionamiento.

- **Modo serie.** Proporciona una sencilla interfaz mediante 2 conexiones, DATA y CLK, con cualquier tipo de microcontrolador, el cual es el encargado de enviar las operaciones típicas de audio como PLAY, PAUSE, STOP y VOLUMEN mediante unos sencillos comandos.
- **Modo autónomo.** Proporciona un funcionamiento totalmente independiente (no es necesario un microcontrolador), en el cual se emplean cuatro pulsadores para las funciones PLAY/PAUSE, NEXT, PREVIOUS y RESET. También es necesaria una fuente de alimentación de 3,0V (pilas o baterías) y un altavoz.

Las principales características del SOMO-14D se muestran a continuación.

- Modulo de bajo coste para todo tipo de aplicaciones de audio.
- Soporta archivos de sonido con formato ADPCM (.ad4) con frecuencias de muestreo desde los 6  $KHz$  hasta 32  $KHz$ .
- Modo serie de trabajo que permite su conexión con cualquier microcontrolador.
- Modo autónomo de trabajo que permite una reproducción automática.
- Dos líneas de salida PWM diferencial para la conexión directa de un altavoz de 8/16/32  $\Omega$  y 0,25  $W$
- Salida auxiliar mediante un circuito DAC/PWM para su conexión a un amplificador externo.
- Reducidas dimensiones en un formato DIL de 14 pines.
- Integra un conector para la inserción de una tarjeta micro-SD.
- Alimentación única de 2,7  $V$  a 3,6  $V$ .

Es importante recalcar que este dispositivo es de vital relevancia en el equipo, ya que las pistas de audio grabadas en la tarjeta micro-SD determinaran el éxito del equipo de óptica geométrica.

#### 2.3.3. Teclado matricial 3X3

Los sistemas microcontrolados tienen como finalidad el proceso de datos. Estos se obtienen de formas variadas, una puede ser de manera automática mediante el uso de sensores o de forma manual, es decir, suministrados por los usuarios. Para este último caso se pueden usar pulsadores cuando la información es muy simple, o mediante teclados de mayor o menor tamaño. Un teclado matricial esta constituido por una matriz de pulsadores dispuestos en filas y columnas, con la finalidad de reducir el numero de líneas para su conexión.

En la figura (2.11) se muestra el aspecto físico de un teclado matricial 3x3. Cada pulsador se conecta a una fila y una columna, de esta manera los 9 pulsadores solo necesitan 6 líneas para conectarse con el exterior, en lugar de las 18 líneas que se necesitarían si cada una de los pulsadores se conectaran de forma independiente.

La mayoría de los teclados se leen por una técnica de exploración que consiste en ir leyendo consecutivamente los estados lógicos de las filas o las columnas de éste. Hay circuitos especializados en esta tarea, pero es fácil hacer que un microcontrolador lea estos teclados matriciales. La disposición en matriz de los teclados responde a la necesidad de leer gran cantidad de conmutadores con pocas líneas de entrada.

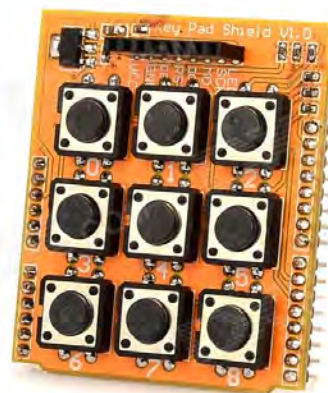


Figura 2.11: Teclado matricial 3X3

## 2.4. Metodología

Para el diseño y desarrollo del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica se trabajó de acuerdo a lo establecido en la metodología del proceso de diseño de equipamiento interactivos en los museos de ciencias Jiménez (2010), tratando en lo posible de cumplir con lo estipulado en cada una de sus distintas etapas o fases. Jiménez (2010) reconoce que para el desarrollo de exposiciones interactivas se requiere de un grupo de especialistas (ingenieros, científicos, diseñadores industriales y gráficos) con el conocimiento y la experiencia necesarios para transformar el diseño en un producto de costo razonable y que requiera de un mínimo de mantenimiento o reparación, en la figura (2.12) se aprecia el esquema usado en la metodología.

Plantea que el módulo lo utilizarán personas con poca cultura museográfica, por tanto, es necesario seguir una serie de recomendaciones que resulten óptimas en el proceso. Sugiere que los equipamientos deben ser sólidos y robustos, de fácil manejo y contruidos con materiales disponibles en el ámbito local.

Esta metodología tiene por objeto proporcionar un modelo que permita elaborar un plan general que determine las operaciones necesarias con el fin de obtener una respuesta directa a las necesidades específicas de un problema para obtener una solución.

El diseño de exposiciones interactivas está determinada por diferentes fases o etapas que abarcan desde la planeación (Guión conceptual) hasta la evaluación del producto. Esta división no significa que el proceso sea estrictamente secuencial, ya que algunas fases pueden darse de manera simultaneas e integradas. Estas fases se resumen a continuación.

### 2.4.1. Planeación (Guión conceptual y museológico)

Una vez que el tema y el espacio físico para la exposición están definidos, se elabora un guión museológico o guión conceptual, donde se definen en un esquema todas las secciones, los temas y los contenidos específicos de la exhibición, comprendiendo todos los temas que se han de exponer con base en los conocimientos previos que los visitantes tienen. En esta etapa, se habla sólo de temas y no de equipos. Aquí únicamente intervienen los expertos (científicos especialistas) y la dirección del museo. Este proceso se desarrolla en un par de meses y el resultado es un documento en el que se enumeran los tópicos por exponer.

### 2.4.2. Diseño (Concepto y desarrollo conceptual)

Este es el eje central del diseño: en esta etapa se define casi todo en la exposición. Desde el punto de vista museológico, se determina:

1. El mensaje o contenido. En ocasiones y debido al espacio, se juntan varios tópicos en un solo elemento. Participan los científicos, el jefe de sala, el director del museo

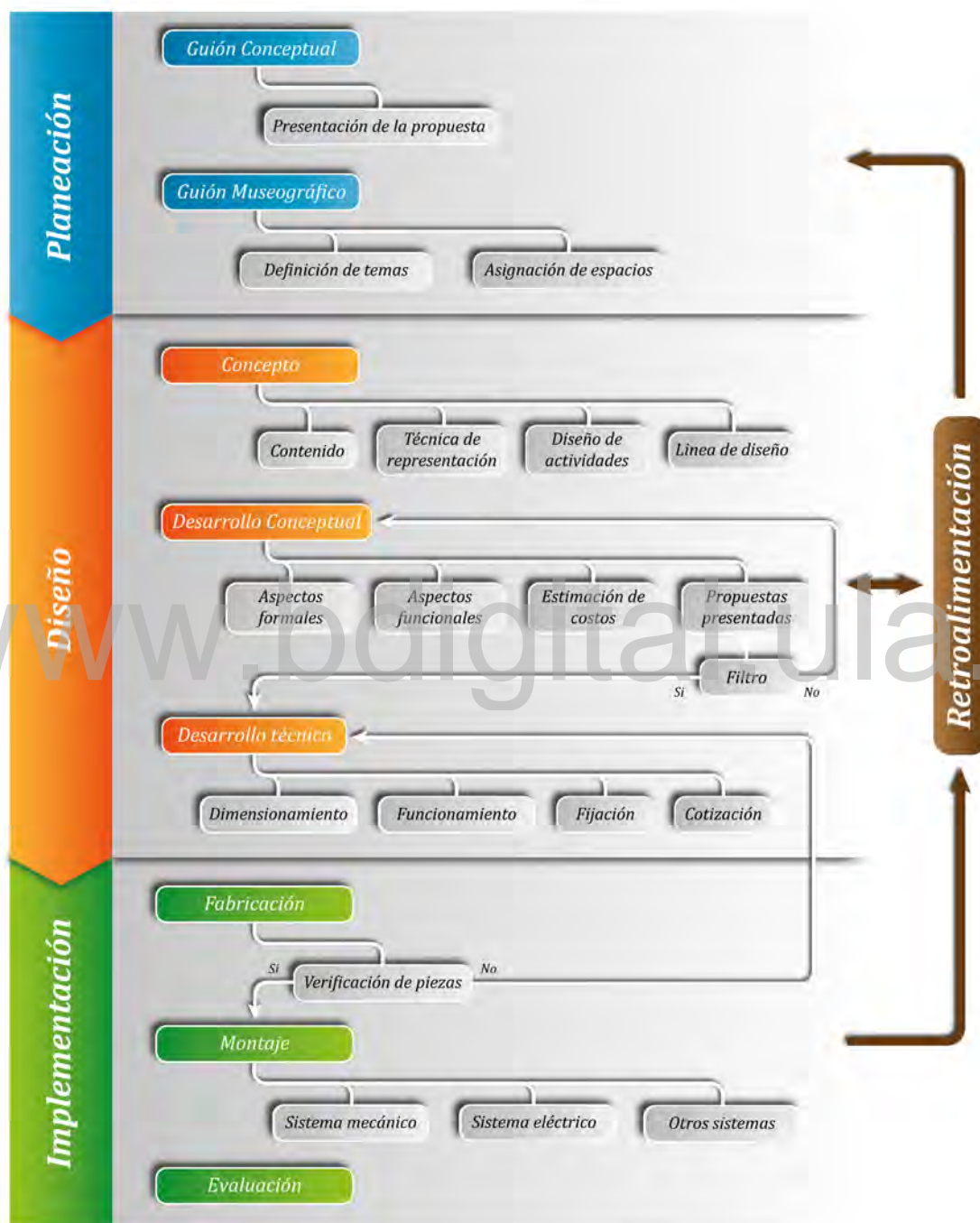


Figura 2.12: Esquema del proceso de diseño de una exposición interactiva de ciencias

y el departamento de medios escritos.

2. La técnica de representación. Se define el medio en el que se va a mostrar al público el contenido (módulo interactivo, cédula temática, vitrina, obra de arte, etcétera). Participan prácticamente todos los integrantes del equipo, en especial el científico y el diseñador industrial.
3. Diseño de actividades potenciales. Partimos del supuesto de que los equipos deben estar diseñados para proporcionarle al sujeto la posibilidad de tener experiencias que sirvan como sustento de la construcción de conceptos y también el desarrollo de habilidades, actitudes y valores en relación con la ciencia. Estas actividades van desde procesar información hasta realizar acciones en un mundo virtual. En cuanto al diseño, se define:
  - a) La línea de diseño. Se determinan los aspectos formales, estéticos, funcionales, arquitectónicos, gráficos e industriales. Participan el científico, el museógrafo, los diseñadores gráficos, los diseñadores industriales y los ingenieros.
  - b) Se define el espacio disponible para cada uno de los elementos. Participan básicamente el científico, el museógrafo y el diseñador industrial.

Para definir estos criterios, el diseñador tiene que llegar a acuerdos comunes con los diversos integrantes del equipo para especificar los aspectos estéticos y funcionales de los módulos.

### 2.4.3. Diseño (Desarrollo técnico)

Al finalizar la fase de diseño conceptual, progresivamente se va entrando en la fase de diseño en detalle. En general, el diseño en detalle está relacionado con el diseño de subsistemas y componentes que integran el conjunto, independientemente de la naturaleza del producto a desarrollar. Es por eso que se hacen necesarias las reuniones con los diferentes especialistas que integran el equipo. Por ejemplo, con el museógrafo se definen los aspectos estéticos (la línea de diseño de los equipamientos). También se especifican algunas características desde el punto de vista técnico, como el tipo de fijación y la fuente de alimentación.

Con el diseñador gráfico, se determinan los espacios disponibles para las cédulas de instrucción y se especifican los colores de cada sección en el equipo. Con el personal de ingeniería, se determina el espacio disponible para los mecanismos ubicados en el interior del módulo; además, se definen los registros o accesos para la instalación de los mismos y se especifican los componentes electromecánicos (botones de acción, palancas, volantes y manivelas).

### 2.4.4. Fabricación y montaje

Esta fase consiste en documentar, preparar y supervisar los planos y especificaciones finales con los cuales se va a construir el producto. En algunos casos, el diseñador también supervisa e inspecciona la realización de su diseño en todos sus aspectos. Al presentar su diseño para realización, debe tener en cuenta los detalles de fabricación, métodos de ensamblaje, materiales utilizados y estar dispuesto a resolver problemas presentes en el proceso de producción, debido a fallas en la fase de diseño en detalle.

Durante esta etapa, el diseñador puede hacer modificaciones de poca importancia que mejoren el diseño; sin embargo, estos cambios deben ser insignificantes, a menos que aparezca un concepto enteramente nuevo. En este caso, el proceso de diseño debe retornar a sus etapas iniciales para que el nuevo concepto sea desarrollado, aprobado y presentado.

### 2.4.5. Evaluación

Después de un tiempo, la exposición se evalúa. Los objetivos son muy variados así como las metodologías empleadas. Básicamente, se identifica el funcionamiento de los distintos elementos museográficos en función de los visitantes. Una vez detectados los problemas, se toman las medidas correspondientes. Las modificaciones pueden ser desde un simple arreglo a una cédula o un cambio de gráfico, hasta la eliminación de todo un elemento museográfico!.



# 3 CAPÍTULO

## APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

*En la investigación es incluso más importante el proceso que el logro mismo – Emilio Muñoz*

### 3.1. Planeación (Guión conceptual y museológico)

Este es el inicio del proceso de diseño de equipamientos interactivos para los museos de ciencias. A partir de un problema detectado se comienza a analizar y procesar la información obtenida, buscando obtener una primera orientación estratégica del proyecto delimitando los márgenes de acción, definiendo el “Qué” se va a hacer, sin avanzar en el “Cómo hacerlo”. Esta etapa tiene por objetivos, la definición del producto que se va a realizar, los temas o secciones, las necesidades que va a cubrir, las características y expectativas de los usuarios.

Dentro de esta perspectiva, fue necesario mantener reuniones con los integrantes del centro de ciencias de la Esc. Dr. Armando González Puccini, para conocer sus inquietudes y así marcar el rumbo del desarrollo del sistema a construir. En estas reuniones los estudiantes mostraron curiosidad acerca de la óptica geométrica, más específicamente, sobre la ley de reflexión, la ley de refracción, con relación a esto, es evidente que se debía construir un sistema de enseñanza de la óptica geométrica y que, tenía que ser presentado como elemento expositivo en su museo escolar.

Entre los temas o secciones tentativos a ser presentados en el sistema interactivo, se encuentran:

1. Ley de reflexión.
  - a) Tipos de reflexión.
  - b) Reflexión en espejos cóncavos.
  - c) Reflexión en espejos convexos.

- d) Formación de imágenes en espejos cóncavos y convexos.
- 2. Ley de refracción.
  - a) Refracción en lentes bicóncavas.
  - b) Refracción en lentes biconvexas.
  - c) Formación de imágenes en lentes bicóncavas y biconvexas.
- 3. Dispersión de la luz.
  - a) Dispersión en un prisma.
  - b) Dispersión en lente circular.
- 4. Reflexión interna total.

## 3.2. Diseño (Desarrollo conceptual)

Esta es probablemente la etapa más creativa en el proceso de diseño, acá el diseñador puede dejar volar su imaginación para la concepción del producto. Esta etapa tiene por objetivos: generar alternativas o prototipos basándose en los requisitos y definición del producto, realizar una selección de los prototipos generados y definir los materiales utilizados.

Una vez establecido el “Qué” se va a hacer en forma clara, es necesario recopilar los aspectos técnicos del producto, a partir de los cuales se pueden asimilar los conceptos del diseño. Entre los aspectos técnicos que debe poseer el producto a diseñar, se encuentra:

1. La fuente de luz debe ser colimada, esto se logra colocando un bulbo de halógeno en el foco óptico de una lente biconvexa, además se hace uso de un diafragma con la finalidad de obtener rayos paralelos entre si, como se muestra en la figura (3.1).
2. La fuente de luz, el goniómetro y el elemento óptico deben estar restringido por dos planos (A, B) como se observa en la figura (3.1), esto es para garantizar la observación de la demostración.
3. El sistema debe ser confinado para poder minimizar la interacción de luz externa con la demostración y a su vez disminuir acciones que sean peligrosas para el usuario.
4. El sistema debe poseer las dimensiones adecuadas, para que los usuarios de distintas edades puedan manipularlo, en la figura (3.2) se muestran las consideraciones extraídas de Guisasola et al. (2005).



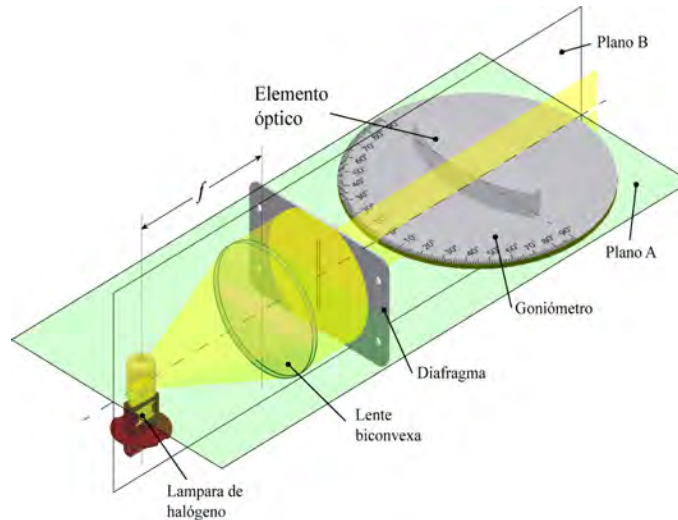


Figura 3.1: Aspectos técnicos

5. De la anterior cita también se obtiene que las fuentes de mas de 30pt (10,53mm) pueden ser leídas fácilmente a un metro de distancia. Este aspecto es realmente importante ya que brinda la relación entre tamaño de un objeto y distancia a la cual sera visto, proporcionándonos una relación de dimensionamiento para algunas de las piezas del prototipo.

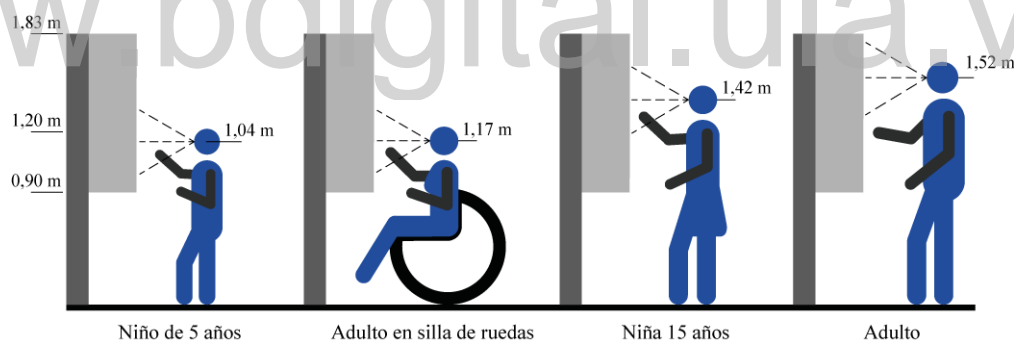


Figura 3.2: Dispositivo con elementos para operar de pie.

A continuación se exhiben las propuestas o prototipos del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica.

### 3.2.1. Prototipo 1

Este primer diseño del sistema interactivo de óptica geométrica, ver figura (3.3.a), fue realizado con la intención de dar una mirada a los conceptos del diseño y servir como base para próximos prototipos, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y las características del producto.

Como puede observar en la figura (3.3.b), el sistema es de pequeñas dimensiones y puede ser operado por una sola persona, además cuenta con un área de observación de

### 3.2. DISEÑO (DESARROLLO CONCEPTUAL)

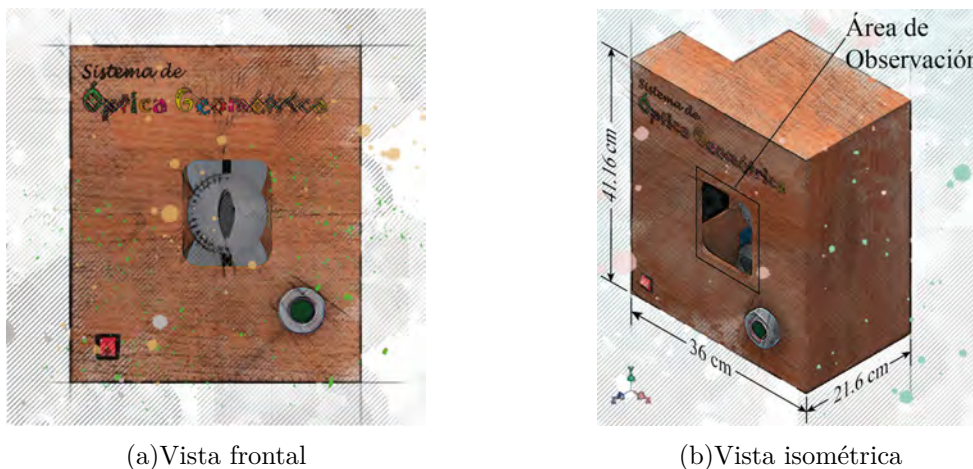


Figura 3.3: Prototipo 1

(11x15)cm. Este diseño tiene la capacidad de exhibir siete demostraciones cualitativas de la óptica, a ser ellas:

- Ley de reflexión (difusa y especular).
- Reflexión en espejo cóncavo.
- Reflexión en espejo convexo.
- Ley de la refracción o Ley de Snell.
- Refracción en lente bicóncava.
- Refracción en lente biconvexa.
- Reflexión total interna.

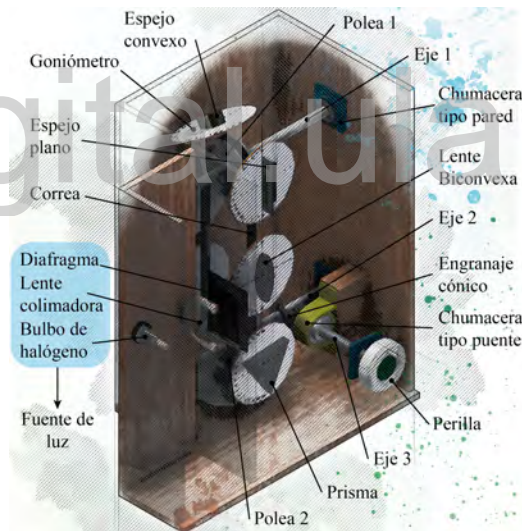


Figura 3.4: Partes del prototipo 1

Otra de las características que posee este diseño, es que la fuente de luz es fija y colimada, mediante un diafragma de tres rendijas y que el sistema en total se encuentra confinado en un cajón de madera.

En cuanto al funcionamiento del sistema, se puede decir que es bastante sencillo, como puede observar en la figura (3.4), los elementos ópticos (lentes y espejos) están montados sobre el goniómetro, la cual a su vez, esta sujeta a un sistema de correa y poleas que son accionadas por medio de los engranajes cónicos colocados en el Eje 2 y Eje 3, y este último eje es operado por medio de la perilla, la cual tiene la capacidad de girar en cualquier sentido.

Para seleccionar la demostración deseada, se hace uso de la perilla, girándola en cualquier sentido hasta que el goniómetro con el elemento óptico quede centrada con el área de observación y luego encender la fuente de luz mediante el switch rojo, para si observar los rayos que emergen de la fuente de luz.

En relación con los materiales usados en este diseño, se encuentran: madera (MDF), aluminio, acrílico para la construcción de las lentes y elementos de ejes (chumaceras).

### 3.2.2. Prototipo 2

Este segundo diseño es un poco más complejo y guarda algunas similitudes con el prototipo antecesor, además se realizó teniendo en cuenta los aspectos negativos del anterior diseño, como puede observar en la figura (3.5).

El diseño cuenta con mayores dimensiones que el anterior (ver figura (3.6)) y se agregan dos elementos ópticos (Prisma y lente circular), que junto con los elementos ópticos del prototipo anterior se elevan a nueve las demostraciones de la óptica geométrica (dispersión en un prisma y refracción en una lente circular). Al igual que el prototipo 1 este diseño también será operado por una persona, con la diferencia de que una o dos personas pueden observar la demostración al mismo tiempo, ya que cuenta con un área de observación mayor que el anterior diseño.

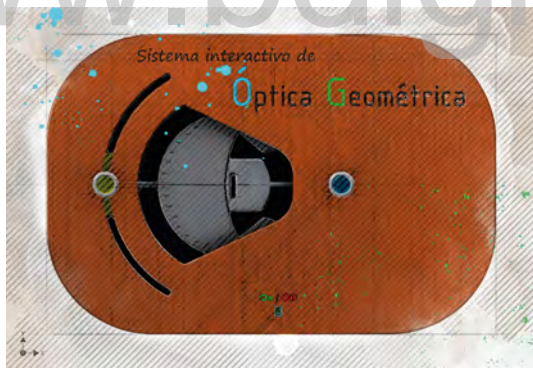


Figura 3.5: Vista frontal

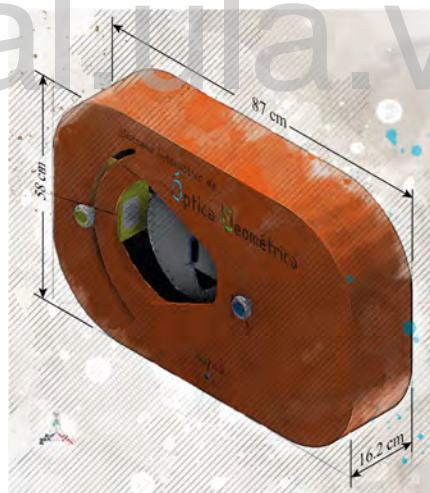


Figura 3.6: Vista isométrica

Entre las novedades en este prototipo se encuentra: la fuente de luz no es fija, es decir, puede efectuar un movimiento circular de  $120^\circ$  ( $60^\circ$  hacia arriba y  $60^\circ$  hacia abajo) en relación al goniómetro y que el sistema colimador se encuentra confinado en una caja amarilla de aluminio, como puede observar en las partes del prototipo 2, ver figura (3.9), además la fuente de luz y la rueda de demostraciones son auto-ajustables, es decir, la fuente de luz se ajusta cada  $10^\circ$  y la rueda de demostraciones cada  $40^\circ$ , esto se logra haciendo uso de un sistema opresor de balón, que no es más que, un tornillo perforado donde se alojara un resorte comprimido y un balón, como se expone en las figuras (3.7)



y (3.8).

En cuanto al funcionamiento el usuario selecciona la demostración deseada mediante la perilla de eje de lentes con círculo “azul” girándola hasta que el elemento óptico se encuentre en el centro del goniómetro, luego enciende la fuente de luz mediante el switch para observar los rayos que emergen de ella, para posicionar los rayos emergentes de la fuente de luz en el ángulo deseado, se hace uso de la perilla con círculo “amarillo” de la fuente de luz (subiéndola o bajándola).

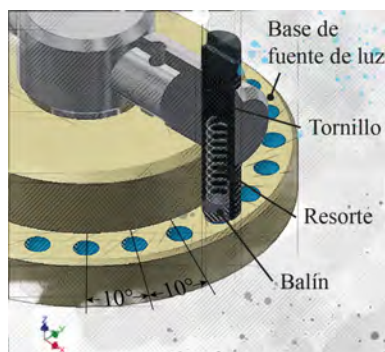


Figura 3.7: Opresor de balón fuente de luz

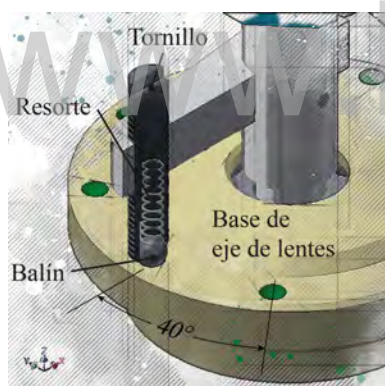


Figura 3.8: Opresor de balón eje de lentes



Figura 3.9: Partes del prototipo 3

En relación con los materiales usados en este diseño, se encuentran: madera (MDF), aluminio, acrílico para la construcción de las lentes y nylon para la fabricación de las bases.

#### 3.2.3. Prototipo 3

Este diseño es una variante del anterior prototipo, en el se realizaron cambios o modificaciones que estuvieron centradas en los aspectos de fabricación y expositivos, ver figura (3.10).

El diseño del equipo cuenta con dimensiones un poco mayores a su antecesor y un

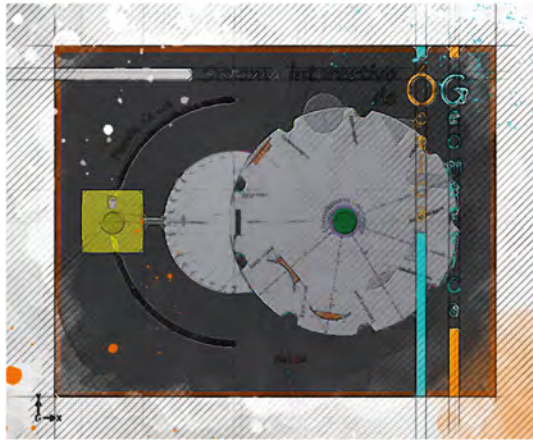


Figura 3.10: Vista frontal

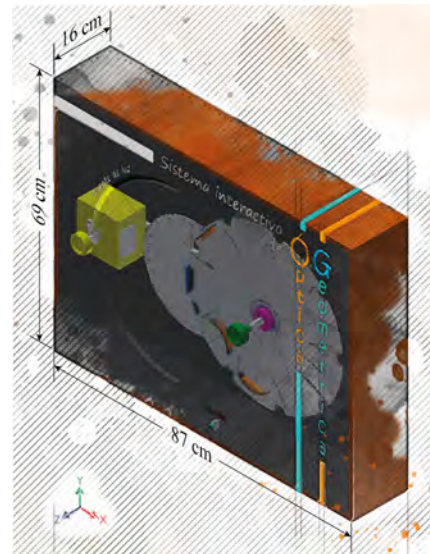


Figura 3.11: Vista isométrica

área de observación mayor, con la finalidad de que un público más numeroso pueda observar las demostraciones, como puede apreciar en la figura (3.11). En cuanto a las demostraciones que se presentan en este diseño, no presentan cambios respecto al anterior prototipo.



Figura 3.12: Partes del prototipo 3

Uno de los cambios significativos en este diseño, es la capacidad de seleccionar dos diafragmas de 1 y 5 rendijas en la fuente de luz, con relación a esto, fue necesario rediseñar la fuente de luz, buscando que la caja amarilla girara entorno a su propio eje para permitir la selección del diafragma, además fue necesaria la implementación de un sistema de palanca de ajuste, ver figura (3.13), para que la fuente de luz permanezca fija en un ángulo requerido.



### 3.2. DISEÑO (DESARROLLO CONCEPTUAL)

Otra de las modificaciones en el sistema es que ya no se presenta el sistema de varillas para el montaje de los elementos ópticos, ver figura (3.12) cambiándola por una superficie mayor de aluminio en la cual se montaran todos los elementos ópticos, teniendo así, mayor área de incidencia de los rayos provenientes de la fuente de luz, así como también, espacio para la señalización de cada demostración.

En relación al funcionamiento del sistema interactivo no presenta cambios respecto a la selección de la demostración, mas si en cuanto a la fuente de luz. Para que los rayos o el rayo que emerge de la fuente de luz esté en un ángulo deseado, solo basta con desajustar la palanca, posicionar la fuente de luz mediante la perilla amarilla en el ángulo deseado y luego ajustar la palanca nuevamente.

Luego para seleccionar el diafragma deseado solo debe girar la perilla en cualquier sentido hasta que el rayo o los rayos que emergen de la fuente de luz coincida en forma colineal con las líneas de los ángulos en el goniómetro.

Respecto a los materiales usados en este diseño, aun se mantiene predilección por el aluminio, madera (MDF) y acrílico como materiales de construcción, por su buena disposición en el mercado y la facilidad de trabajo.



Figura 3.13: Placa de ajuste.

#### 3.2.4. Prototipo 4

Este prototipo se presenta como la evolución del anterior diseño, a grandes rasgos este diseño no varía en gran medida respecto al prototipo 3 ver figuras (3.14 y 3.15), solo se modificaron algunas partes o piezas para proporcionar el buen funcionamiento de las modificaciones, entre las modificaciones realizadas se encuentran la implementación de nuevas tecnologías, con la finalidad de potenciar la capacidad de divulgación y el mejoramiento en la observación de las demostraciones en el sistema interactivo de óptica geométrica.

Una de las nuevas implementaciones realizadas en el prototipo, se encuentra la modificación en la fuente de luz, específicamente en el sistema colimador de luz usado en los prototipos posteriores, reemplazándolo por un sistema de láser de línea, como puede observar en la figura (3.16), esto se realizó con la finalidad de evitar que el prototipo deba permanecer en un ambiente oscuro de manera que los rayos que emergen de la fuente de luz, se puedan observar cuando incidan en la bandeja de elementos ópticos, así como también evitar el calentamiento en la caja de aluminio y la perilla de la fuente de luz.

Otra de las innovaciones implementadas en el prototipo, tiene que ver, con la aplicación de un sistema electrónico en el prototipo, con la finalidad de descartar el requerimiento de un instructor para guiar al usuario durante las demostraciones y en contra



Figura 3.14: Vista frontal



Figura 3.15: Vista isométrica

medida, elevar el nivel de interactividad del prototipo. Para la implementación de este sistema electrónico fue necesario la modificación del cajón de madera y por ende, la creación de la consola donde estará albergado dicho sistema y proporcionara espacio para el alojamiento del botón INICIO, el LED indicador de reproducción del audio y las cornetas.

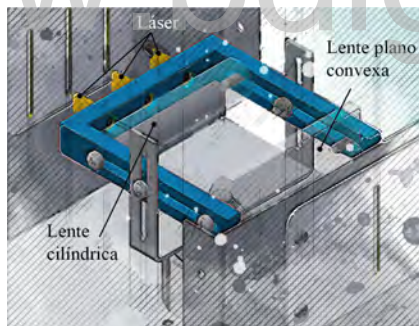


Figura 3.16: Arreglo del sistema láser de línea



Figura 3.17: Partes del prototipo 4

Este sistema electrónico es gobernado por un microcontrolador, el cual será el encargado del sistema de reproducción de las pistas audio y del encendido y apagado de la fuente de luz, cabe aclarar que las pistas de audio están diseñadas bajo el modelo instruccional ADDIE, es decir, las pistas de audio dará instrucciones que el usuario deberá seguir teniendo un tiempo determinado para completar dichas instrucciones durante la demostración seleccionada.

Con relación al funcionamiento del equipo, el prototipo cuenta con dos medios de

información para su manipulación, ver figura (3.17), una es un medio escrito en la consola donde se proporcionara información de primera mano y la segunda es la selección del área de instrucciones en la bandeja de elementos ópticos, en ella se darán instrucciones sobre la manipulación de la fuente de luz y la selección de los elementos ópticos para su demostración, así como también, las instrucciones para el uso del botón INICIO en sus modalidades de reproducir-parar y pausar el audio.

Con relación a los materiales usados en este diseño, al igual que en los prototipos posteriores se mantiene la predilección por el aluminio, madera (MDF) y acrílico como materiales de construcción, por su buena disposición en el mercado y la facilidad de trabajo.

#### 3.2.5. Elección de prototipo

Esta es quizás una de las etapas cruciales en el proceso de diseño de equipamiento interactivos para los museos, ya que en esta fase es donde se realiza la selección del prototipo a fabricar, es por ello que a cada propuesta presentada se le aplica diversos atributos para comprobar si el prototipo cumple con los requisitos deseados. Con tal fin se escogieron los siguientes atributos:

Atributo	Descripción
Tamaño	Se refiere a las dimensiones físicas del prototipo
Interactivo	Es el nivel de participación entre usuario y maquina
Área de exposición	Es el área de observación de las demostraciones
Seguridad	Consiste en evaluar el riesgo al cual estará expuesto el usuario
Durabilidad	Se refiere a la calidad de las partes del prototipo
Fabricación	Hace referencia a la facilidad de elaboración y ensamblaje de cada uno de sus componentes
Operabilidad	Se refiere a la facilidad con que un prototipo puede ser operado por los usuarios
Demostraciones	Es la cantidad de elementos ópticos usados en las demostraciones
Estilo	Hace referencia a su aspecto, describe su apariencia, haciéndolos atractivos los usuarios
Usabilidad	Es la medida de la capacidad del aprendizaje que tiene un usuario al interactuar con un prototipo
Cotización	esta relacionada con los gastos en materia prima.

Cuadro 3.1: Descripción de atributos



### 3.2.5.1. Decisión

Tal y como lo indica el proceso de diseño de equipamientos interactivos la decisión de cual diseño es el óptimo, debe determinarse mediante un grupo de profesionales (ingenieros, científicos, diseñadores gráficos e industriales) con el conocimiento y la experiencia necesaria para elegir el prototipo a fabricar, y como no se dispone de dicha experiencia se hizo uso de la matriz de decisión como herramienta de ayuda para obtener la mejor solución.

### 3.2.5.2. Matriz de decisión

Esta no es más que una forma de comparar los prototipos propuestos de una manera tal que asignándole valores a parámetros y criterios de diseño y evaluando cada uno con las propuestas obtenidas se obtiene la mejor solución. Para la evaluación de las propuestas en cada uno de los criterios, se utilizará la siguiente escala numérica:

Criterio	Valor
La menos favorable	1
Poco favorable	2
Favorable	3
Muy favorable	4
La mas favorable	5

Cuadro 3.2: Criterios de evaluación.

El valor porcentual asignado a cada atributo se presenta a continuación: Para el desarrollo de la matriz de decisión es necesario adjudicarle valores porcentuales a cada uno de los criterios, estos se tomaron de acuerdo a la importancia relativa que tiene cada uno de los criterios con relación a cada una de las propuestas.

En el caso de los atributos Estilo, Interactivo y Demostraciones se les asigno un porcentaje alto debido a que toman un papel de gran importancia en el diseño del sistema interactivo, ya que en los tres atributos se define en su totalidad el sistema, siendo llamativo para los usuarios, también en la capacidad de interactuar con la persona y la cantidad de demostraciones a ser evaluadas.

Para los atributos Área de exposición, Operabilidad y Usabilidad la asignación fue un poco mas baja respecto a los atributos anteriores, pero sin dejar de ser importantes debido a qué, el área de exposición juega un papel importante en el diseño, así como también la operabilidad y usabilidad.

En relación a los atributos Tamaño, Seguridad, Durabilidad, Fabricación y Cotización se les asigno los valores mas bajos, no sin restarles importancia, ya que son de gran valía

### 3.2. DISEÑO (DESARROLLO CONCEPTUAL)

en el desarrollo y diseño del sistema interactivo, por ejemplo la seguridad es de gran importancia en el diseño del sistema ya que se deben minimizar al máximo los riesgos que puedan correr los usuarios, la durabilidad también juega un papel importante ya que depende de la calidad de los materiales de fabricación para construir un equipo robusto y duradero. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, se procede a realizar la matriz de decisión, ver tabla (3.3)

Prototipos									
		1		2		3		4	
Atributo	Valor (%)	Ev.	Tot.	Ev.	Tot.	Ev.	Tot.	Ev.	Tot.
Tamaño	8	2	0,16	3	0,24	4	0,32	4	0,32
Interactivo	11	1	0,11	3	0,33	3	0,33	5	0,55
Área de exposición	10	1	0,10	2	0,20	4	0,40	5	0,50
Seguridad	7	5	0,35	5	0,35	5	0,35	5	0,35
Durabilidad	8	4	0,32	3	0,24	4	0,32	4	0,32
Fabricación	7	5	0,35	2	0,14	3	0,21	3	0,21
Operabilidad	10	3	0,30	2	0,20	3	0,30	5	0,50
Demostraciones	11	2	0,22	5	0,55	5	0,55	5	0,55
Estilo	11	2	0,22	3	0,33	4	0,44	5	0,55
Usabilidad	9	3	0,27	4	0,36	4	0,36	5	0,45
Cotización	8	5	0,40	3	0,24	3	0,24	3	0,24
Total	100		2,8		3,18		3,82		4,54

Cuadro 3.3: Matriz de decisión.

#### 3.2.5.3. Propuesta obtenida

Luego de culminado el proceso de análisis de las propuestas obtenidas y empleada la matriz de decisión como herramienta para conseguir un resultado satisfactorio, se obtuvo que la mejor propuesta es el prototipo numero 4. Este diseño tuvo una gran aceptación por el grupo de enseñanza de la física, siendo el prototipo a construir ya que cumple con todos los requisitos y características que debe poseer un sistema para la exposición en un museo interactivo. Cabe aclarar que aunque este es el que se va a construir, él puede estar bajo modificaciones para el desarrollo de prototipos futuros.

### 3.3. Diseño (Desarrollo técnico o en detalle)

Al finalizar la fase de diseño conceptual, progresivamente se va entrando en la fase de diseño en detalle. El límite entre ambas fases no siempre está claro y varía también en función del tipo de producto, su grado de novedad, etc. En general, el diseño en detalle está relacionado con el diseño de subsistemas y componentes que integran el conjunto, independientemente de la naturaleza del producto a desarrollar.

Cuando se alcanza la fase de diseño en detalle es necesario recurrir a todos los conocimientos sobre materiales, procesos de manufactura, técnicas de análisis, nuevas tecnologías en el sector, entorno del componente, estética, etc. Que deberá tener en cuenta el diseñador a la hora de realizar un buen diseño del componente. Durante la etapa de diseño en detalle se deben definir completamente todos los componentes del producto.

El diseño de subsistemas y componentes debe tener en cuenta todos los factores que afectan al producto de la misma manera que se tenía en cuenta en la fase de diseño conceptual. Mientras que en la etapa conceptual se concebía el producto de manera global y los subsistemas necesarios para desempeñar todas las funciones, ahora hay que determinar las características de cada pieza que va a hacer posible que los subsistemas desarrollen dichas funciones.

Por ejemplo, particularizando únicamente en el estudio o diseño mecánico<sup>1</sup>, su objetivo es diseñar todos los componentes del sistema interactivo para que desempeñe las distintas funciones, se trata de diseño en detalle puro, en el que hay que definir, calcular, dimensionar las piezas que, integradas en un determinado subsistema, permiten el funcionamiento del conjunto. Lógicamente, la complejidad de este estudio estará relacionada con la dificultad del propio sistema. Si el sistema presenta subsistemas o componentes con movimientos relativos será conveniente modelar su comportamiento. El diseño asistido por computadora (CAD) puede ayudar en este aspecto, siendo posible verificar el movimiento de las piezas y si existen interferencias e incluso analizar las respuestas ante distintas cargas.

Como resultado, la fase de diseño en detalle debe generar planos definitivos del producto con las especificaciones necesarias para pasar a la fase de producción del prototipo. Esta es quizás la fase más extensa del proceso de diseño de productos, es por ello que esta fase se presentará en dos capítulos, estructurándolos de la siguiente manera: Capítulo 3 se relaciona con el diseño óptico y mecánico, en el Capítulo 4 se presentará el diseño electrónico y instruccional del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica.

### 3.4. Fabricación y montaje

El proceso de diseño y desarrollo de productos incluye el planteamiento de un sistema de fabricación. En este proceso se da la puesta en marcha de la producción, fabricando

---

<sup>1</sup>De igual manera se aplica en el diseño electrónico y óptico.

una serie corta o una prueba piloto, utilizando y poniendo a punto los medios de manufactura necesarios. Durante ella se deberán adquirir o subcontratar recursos edilicios, equipos, herramientas de producción o la contratación de empresas afines al sistema de manufactura.

Esta fase consiste en documentar, preparar y supervisar los planos y especificaciones finales con los cuales se va a construir el producto. En algunos casos, el diseñador también supervisa e inspecciona la realización de su diseño en todos sus aspectos. Al presentar su diseño para realización, debe tener en cuenta los detalles de fabricación, métodos de ensamblaje, materiales utilizados y estar dispuesto a resolver problemas presentes en el proceso de producción, debido a fallas en la fase de diseño en detalle. Durante esta etapa, el diseñador puede hacer modificaciones de poca importancia que mejoren el diseño; sin embargo, estos cambios deben ser insignificantes, a menos que aparezca un concepto enteramente nuevo. En este caso, el proceso de diseño debe retornar a sus etapas iniciales para que el nuevo concepto sea desarrollado, aprobado y presentado.

## 3.5. Evaluación

Durante todo el proceso de diseño del producto, se debe verificar que este cumpla efectivamente con las características conceptuales del producto, verificando además entre otros aspectos, la seguridad, la calidad, confiabilidad y manutención. Comprobando el cumplimiento de las especificaciones establecidas en las fases anteriores facilitando su paso a la entrega del producto.

En esta fase también se verifican tanto características técnicas como compatibilidades dimensionales, de ensamblado y montaje con miras a su entrega. Se trata de un proceso iterativo en el que la solución técnica se convierte progresivamente en una solución factible a ser entregada, Validando el producto en condiciones de uso realista, realizando prueba con usuarios

# 4 CAPÍTULO

## **DISEÑO ÓPTICO Y MECÁNICO**

*¿De qué sirve el ingenio cuando no nos divierte? No hay nada más fatigoso que un ingenio triste - Iván Turguénev*

En este capítulo será presentado una parte del diseño detallado del sistema, específicamente el diseño óptico y mecánico, exponiendo los diferentes subconjuntos o secciones que integraran el prototipo, así como también el diseño de las lentes, los espejos, el sistema de láser de línea y una breve descripción de los software usados en el desarrollo del prototipo, tanto diseño mecánico como óptico

### 4.1. Diseño Óptico

Por definición, el diseño óptico se basa en el desarrollo y análisis de sistemas ópticos, en campos de estudio como la óptica física, la fotónica y la óptica geométrica. En nuestro caso nos centraremos en la óptica geométrica, principalmente en la demostración de la ley de reflexión, refracción y la reflexión interna total.

Para la realización del diseño óptico, se hizo uso del software **TracePro**, siendo este un software de comercial basado en ingeniería óptica, para diseñar y analizar sistemas ópticos y de iluminación, donde la interfaz gráfica (GUI) del programa esta basada en CAD 3D, creando un entorno prototipado virtual, para la realización de simulaciones y verificación del sistema óptico. Además de TracePro también fue usado el software **Inventor** desarrollado por la compañía Autodesk, siendo este un software de diseño CAD 3D, brindando herramientas de diseño mecánico 3D, documentación y simulación de prototipos, cabe resaltar que el software Inventor será ampliamente usado en todo el desarrollo del prototipo. En el diseño óptico es empleado para el prototipado de los sistemas ópticos y el sistema laser de línea que luego fueron usados para las simulaciones en TracePro.

#### 4.1.1. Diseño de la fuente de luz (Láser de línea colimado)

El láser de línea colimado es usado como fuente de luz en el prototipo, con la finalidad de proporcionar rayos paralelos entre sí, para ser utilizados en las demostraciones.



Figura 4.1: Laser de linea, tomado de Edmund Optics

En el mercado ya existen láseres de linea presentándolo en un modulo compacto, como se logra observar en la figura (4.1), exhibiendo ángulos de apertura que van desde 15° hasta 60°, en nuestro caso no logramos adquirir este tipo de láser, por tanto debimos diseñar y construir dicho láser a partir de un puntero láser. En Internet se encuentran diferentes formas de fabricarlo, estas van desde el uso de lentes especializadas de compañías como Edmund Industrial Optics, hasta sistemas complejos conformados por espejo-laser-motor DC, pero entre las mas comunes y accesible, consiste en el uso de una lente cilíndrica. Cabe resaltar que estos láser de linea generan una linea en forma divergente, por tanto debemos colimarla siguiendo las recomendaciones descritas en la sección (3.2).

4.1.1.1. El diodo láser

El láser usado en el prototipo es del tipo semiconductor, ya que son los de menores dimensiones y son producidos a gran escala, además, de ser ampliamente usados en la industria, como en la comunicación de datos por fibra óptica, impresoras láser, sensores y tratamientos con láser odontologico por tanto son accesibles y económicos. En la figura (4.2) se muestra el láser implementado en el prototipo y en la tabla (4.1) se exponen sus principales características.

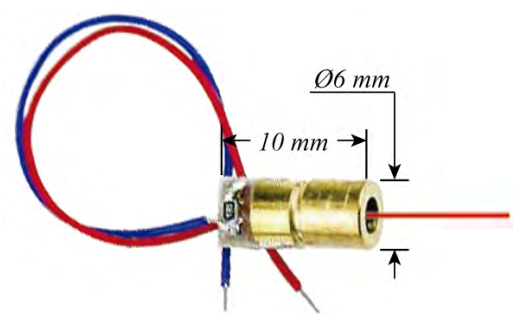


Figura 4.2: Puntero láser

Característica	Magnitud
Voltaje de operación	5V
Longitud de onda	650nm
Potencia máxima	5mW
Forma del láser	Punto
Temperatura de trabajo	-10° hasta 40°

Cuadro 4.1: Características del puntero láser

4.1.1.2. Lente cilíndrica

Como se dijo anteriormente, una de las maneras de generar una linea láser a partir de un puntero láser, es mediante el uso de lentes. El haz del láser al colisionar con la superficie de la lente, presenta desviación o refracción, generando así la linea como se

expone en la figura (4.3) en la cual se uso la sección de una lente cilíndrica.

Para el prototipo se implemento una lente cilíndrica como generador de la línea láser, ver figura (4.4), cabe resaltar que el material con que está construida dicha lente es de acrílico, por tanto su índice de refracción es  $n = 1,488$ , es importante conocer esta magnitud puesto que se debe hallar la distancia focal de dicha lente y el ángulo de apertura del haz. La lente cilíndrica al no ser una lente delgada no se fundamenta en la ecuación del fabricante de lentes (2.7), por ello nos apoyamos en la figura (4.5). En la cual se logra observar la trayectoria del rayo situado en el borde del haz láser, el cual forma un ángulo pequeño respecto al eje óptico, por tanto, se puede usar la aproximación paraxial, de modo que

$$\text{sen}(\theta) = \frac{H}{R} \Rightarrow \theta \approx \frac{H}{R}$$

Luego al aplicar la ley de Snell en el punto  $P$

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{H}{nR} \Rightarrow \alpha \approx \frac{H}{nR}$$

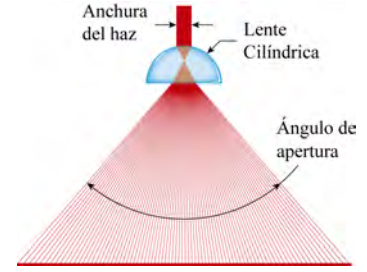


Figura 4.3: Lente generadora de línea láser

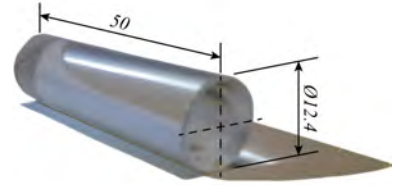


Figura 4.4: Lente cilíndrica

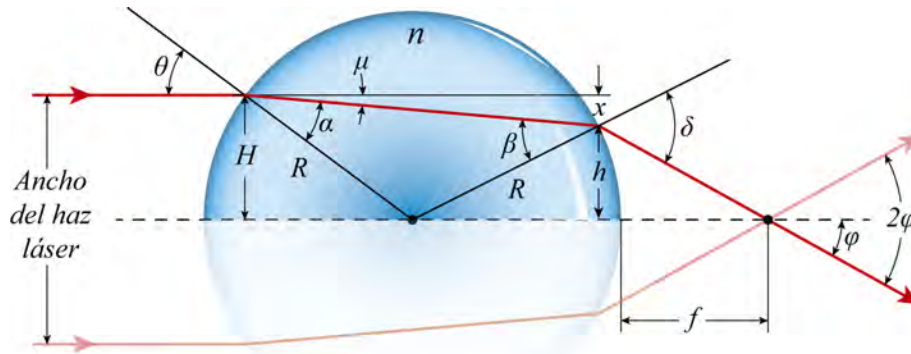


Figura 4.5: Diagrama de rayos en lente cilíndrica

Donde  $n$  es el índice de refracción para el acrílico. Del triángulo  $OPS$  se desprende que  $\alpha = \beta$ , por ser un triángulo isósceles. Ahora aplicando la ley de Snell en el punto  $S$

$$\text{sen}(\delta) = \frac{H}{R} \Rightarrow \delta \approx \frac{H}{R}$$



Indicando que el ángulo de entrada es igual al ángulo de salida  $\delta = \theta$ , luego al aplicar simple trigonometría en el punto  $S$  se tiene que:

$$\varphi = \frac{2H}{R} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (4.1)$$

Donde  $\varphi$  corresponde a la mitad del ángulo de apertura de la línea láser. Ahora en relación con la distancia focal, se logra observar en la figura (4.5) que el haz del láser llega a la superficie posterior en  $2R$  veces la desviación y con altura  $h$ . Por tanto.

$$h = H - 2R\mu$$

Teniendo en cuenta que  $\mu = \theta - \alpha$ , la ecuación anterior se puede escribir como.

$$h = H \left(\frac{2}{n} - 1\right)$$

Por último se tiene que  $\tan(\varphi) = h/f$  despejando y usando la aproximación paraxial se obtiene la distancia focal de la lente.

$$f = \frac{R \left(\frac{2}{n} - 1\right)}{2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)} \quad (4.2)$$

En nuestro caso, por las dimensiones descritas en la figura (4.4)  $R = 6,3mm$  se tiene que  $f = (3,30 \pm 0,05)mm$  y el ángulo de apertura  $2\varphi$  vendría siendo  $(15,12 \pm 0,18)^\circ$ . Aclarando que los errores, se obtuvieron mediante el método de mínimos cuadrados. En la figura (4.6), se expone la simulación realizada en TracePro.

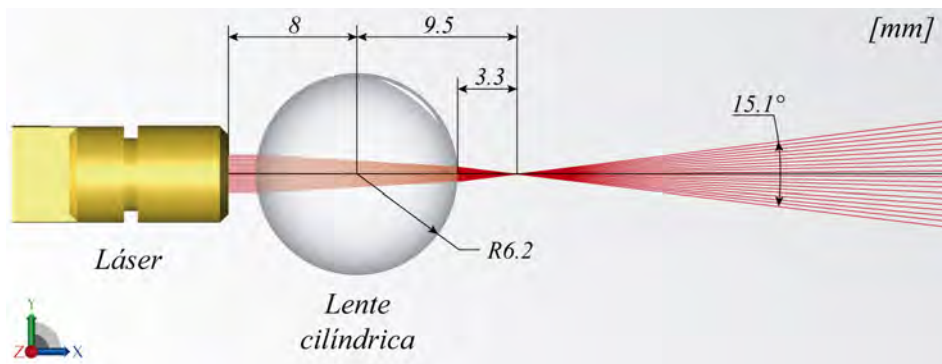


Figura 4.6: Simulación en TracePro de la línea láser



### 4.1.1.3. Lente convergente o colimador

El colimador es un sistema óptico con el cual se obtiene un haz donde todos los rayos son paralelos entre si, es decir, los rayos que parten de una fuente luminosa divergente al interactuar con las superficies del colimador, emergen teniendo la misma dirección.

En nuestro caso, el sistema láser de línea colimado está integrado por, el láser, la lente cilíndrica y la lente plano convexa, la cual actúa como colimador en el sistema. Es importante recalcar que el sistema láser de línea debe situarse en el foco de la lente plano convexa, para garantizar que los rayos que emergen de la lente sean paralelos entre si.

Teniendo esto en cuenta y las restricciones impuestas en la sección (3.2), de que el sistema debía ser compacto. Consideramos que la distancia focal optima para la lente plano convexa debía ser de  $40mm$ . Una vez asignada la distancia focal se procedió a realizar el calculo del radio de curvatura de la lente plano convexa.

Para hallar el radio de curvatura de la lente plano convexa, nos apoyamos en la ecuación (2.7), teniendo en cuenta que  $R_1 \rightarrow \infty$ , por ser una superficie plana, por tanto la ecuación (2.7), se puede reescribir de la siguiente manera.

$$R_1 = (n - 1)f$$

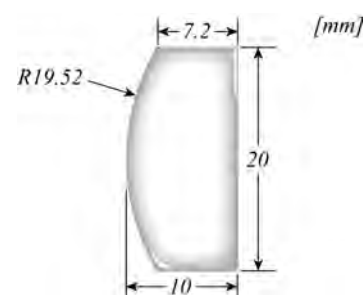


Figura 4.7: Lente colimadora

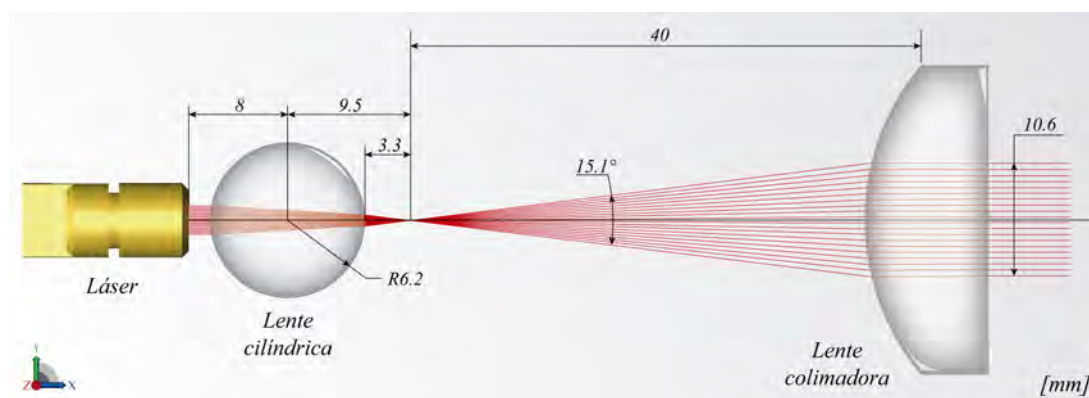


Figura 4.8: Simulación en TracePro de la línea láser colimada

Al igual que en la lente cilíndrica el material de construcción de la lente es acrílico ( $n = 1,488$ ), luego al introducir los valores se tiene que el radio de curvatura  $R_1 = (19,52 \pm 0,09)mm$ . En la figura (4.7) se expone el diseño de la lente plano convexa. Una vez realizado la lente colimadora, se procede a realizar la simulación en TracePro, la cual se presenta en figura (4.8). El calculo de el ancho del haz laser se realizo mediante simple trigonometria relacionando el angulo de apertura y la distancia focal de la lente, con lo cual se obtuvo que el ancho del haz es de  $(10,6 \pm 0,2)mm$

#### 4.1. DISEÑO ÓPTICO

Una vez realizado el análisis del sistema láser de línea colimado, es importante conocer la cantidad de rayos necesarios para cada experiencia, con la finalidad de determinar la cantidad de láseres que deben ser implementados en el diseño de la fuente de luz, para ello nos apoyamos en la tabla (4.2), en la cual se expone la cantidad de rayos necesarios para cada experiencia, partiendo desde un rayo hasta 5 rayos paralelos. Por ejemplo, para la ley de reflexión es necesario un rayo para conocer el ángulo de reflexión y tres para demostrar los tipos de reflexión, en el caso de la ley de refracción solo es necesario un rayo, puesto que solo nos interesa conocer el ángulo de refracción, para los espejos y lentes se necesitan tres o cinco rayos para determinar el foco de cada sistema óptico y por último en las experiencias de prisma y reflexión total interna se requiere de un rayo, pues se quiere demostrar que a cierto ángulo de incidencia el rayo refractado experimenta múltiples reflexiones dentro del material.

Experiencia	1 Rayo	3 Rayos	5 Rayos
Ley de reflexión	✓	✓	✓
Ley de refracción	✓		
Espejo cóncavo		✓	✓
Espejo convexo		✓	✓
Lente biconvexa		✓	✓
Lente biconcava		✓	✓
Reflexión interna total	✓		
Prisma	✓		

Cuadro 4.2: Numero de rayos necesarios por experiencia

Como se observa en la tabla (4.2), la cantidad mínima de rayos que debe poseer la fuente de luz (láser de línea colimado) es de tres rayos, por tanto se debe realizar el diseño de la fuente de luz con tres láseres, teniendo en cuenta que en el diseño mecánico se debe realizar, de manera que la fuente de luz tenga la posibilidad de elegir entre uno y tres rayos.

##### 4.1.1.4. Ensamble del sistema láser de línea

Para realizar el armado de la fuente de luz, fue necesario el diseño y fabricación de dos piezas, con el propósito de dar soporte a los componentes del láser de línea colimado y proporcionar guías para el ajuste del mismo.

En primer lugar, se realizó el diseño de la base del láser de línea colimado, la cual albergara los láseres y las dos lentes, tanto la lente cilíndrica como la lente colimadora.

Esta pieza fue realizada a partir de un segmento de acrílico blanco de  $10\text{mm}$  de espesor como se muestra en la figura (4.9), cortada en forma de “U” proporcionando así tres lados para maquinar, por un lado se perforaran tres agujeros de  $6\text{mm}$  de diámetro y  $15\text{mm}$  de separación entre ellos, ya que este lado es donde se alojaran los láseres. Finalmente, en los lados restantes de la pieza, se realizó un canal de  $(50 \times 3)\text{mm}$  los cuales tienen la función de sujeción y guía para el ajuste de la lente cilíndrica y colimadora, como se describe en la figura (4.10).

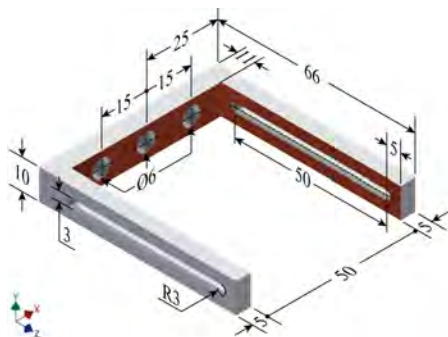


Figura 4.9: Base del laser del linea colimado

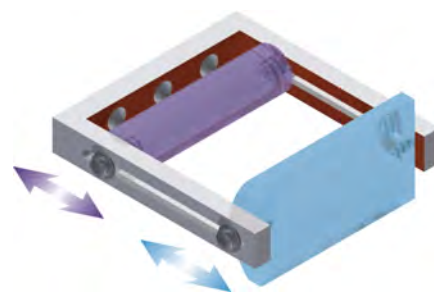


Figura 4.10: Sujeccion y ajuste de las lentes cilíndrica y colimadora

Por otro lado, la pieza faltante es la chapa de fijación, esta fue realizada a partir de una chapa de aluminio de  $1,2\text{mm}$  de espesor y doblada también en “U” como se expone en la figura (4.11). La función principal de esta pieza es fijar la base del láser de línea colimado al brazo del subconjunto de la fuente de luz<sup>1</sup> mediante el agujero de  $6\text{mm}$  de diámetro, además de proporcionar el ajuste de altura a la base del láser de línea colimado por medio de los canales de  $(30 \times 3)\text{mm}$ , como se muestra en la figura (4.12).

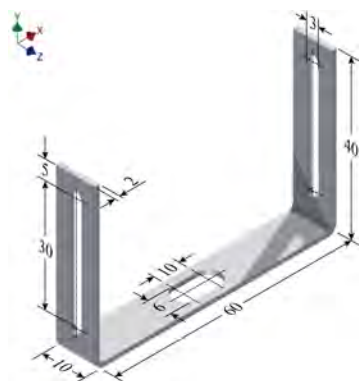


Figura 4.11: Chapa de sujeción de la base del láser de linea

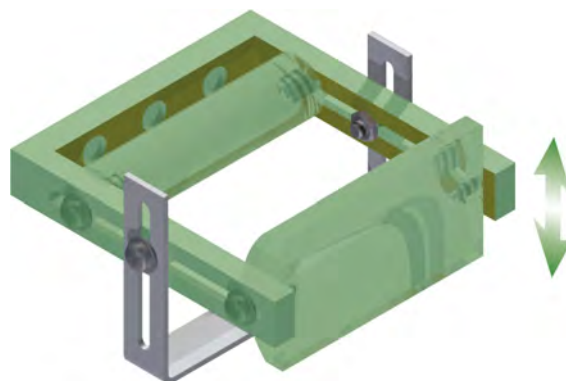


Figura 4.12: Ajuste de altura de la base del láser de linea colimado

Una vez realizado el diseño de las piezas faltantes, procedemos a efectuar el ensamble de la fuente de luz por completo. En la figura (4.13) se observa el diseño de la fuente de luz realizado en *Inventor* y la imagen real de la fuente de luz. Además en el Apéndice A se expone el plano de conjunto y la vista estallada de la fuente de luz, figuras (A.1) y

<sup>1</sup>Ver sección LLLLL

(A.2), esto como complemento del diseño mecánico.

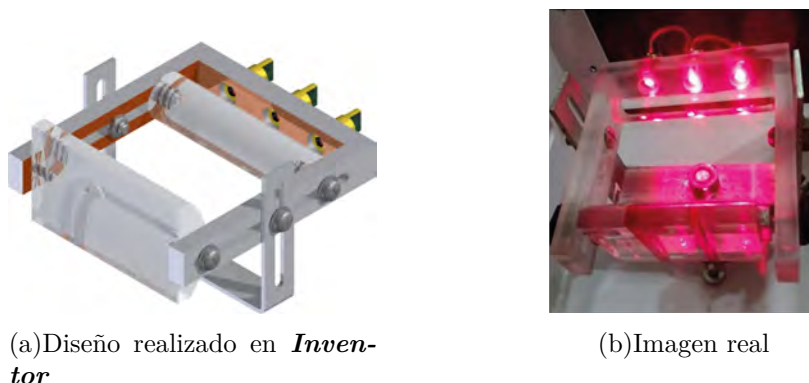


Figura 4.13: Ensamble de la fuente de luz

### 4.1.2. Diseño de los elementos ópticos de las experiencias

En esta ocasión se presentará el diseño de los elementos ópticos, los cuales serán usados en las demostraciones.

#### 4.1.2.1. Espejo plano

En la experiencia de la ley de reflexión fue necesario la implementación de espejo plano para su demostración. En la figura (4.14) se exhibe el diseño del espejo, teniendo en cuenta que fue necesario la realización de una pieza, con la finalidad de servir como soporte para el espejo. Dicha pieza se realizó a partir de un segmento de acrílico de 10mm de espesor.

Además, de la demostración de la ley de reflexión, también se pretende exponer los tipos de reflexión (Especular y difusa). En la reflexión especular no conlleva ningún cambio en el diseño del espejo puesto que solo se necesita de una superficie pulida, en cambio con la reflexión difusa fue necesario modificar la superficie del espejo plano, ya que dicho tipo de reflexión necesita una superficie rugosa, esto se logró limando con un dremel la superficie del espejo como se observa en la figura (4.15).

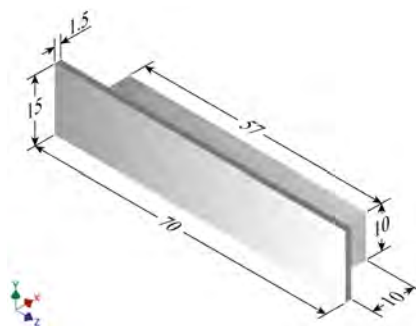


Figura 4.14: Plano del espejo plano

#### 4.1.2.2. Ley de refracción

Para la experiencia de la ley de refracción se pretende exponer el grado de desviación que efectúa un rayo luminoso al atravesar un material transparente, para ello se hizo uso de un segmento de acrílico como se observa en la figura (4.16)

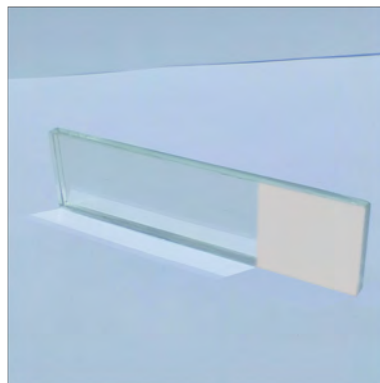
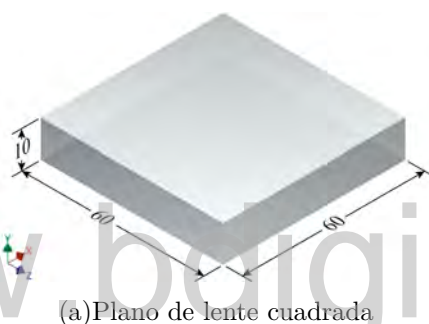


Figura 4.15: Espejo Plano



(a) Plano de lente cuadrada



(b) Lente cuadrada

Figura 4.16: Experiencia de la ley de refracción

#### 4.1.2.3. Espejos curvos

Para la realización del diseño de los espejos curvos, nos apoyamos en la definición dada en la subsección (2.2.6.1). Si bien la fabricación de espejos curvos es una tarea compleja, en nuestro caso recurrimos a la manera más fácil de realizar dichos espejos, la cual es mediante el curvado de chapas de acero inoxidable pulido. En la figura (4.17) se presenta el diseño de ambos espejos (cóncavo y convexo)

La distancia focal de ambos espejos fue calculada a partir de la ecuación (2.5) descrita anteriormente y que en nuestro caso la distancia focal de los espejos es de  $f = (28,75 \pm 0,05)mm$ . En la figura (4.18) se expone los espejos que serán usados en el sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica

#### 4.1.2.4. Lentes

Para el desarrollo y fabricación de las lentes nos sustentamos en la subsección (2.2.6.2), la cual expone una breve descripción de las lentes y su clasificación. Teniendo esto en cuenta, nos pareció que la elección correcta de las lentes a diseñar y construir fueron las lentes biconvexas y bicóncava para exponer en el sistema interactivo, puesto que son

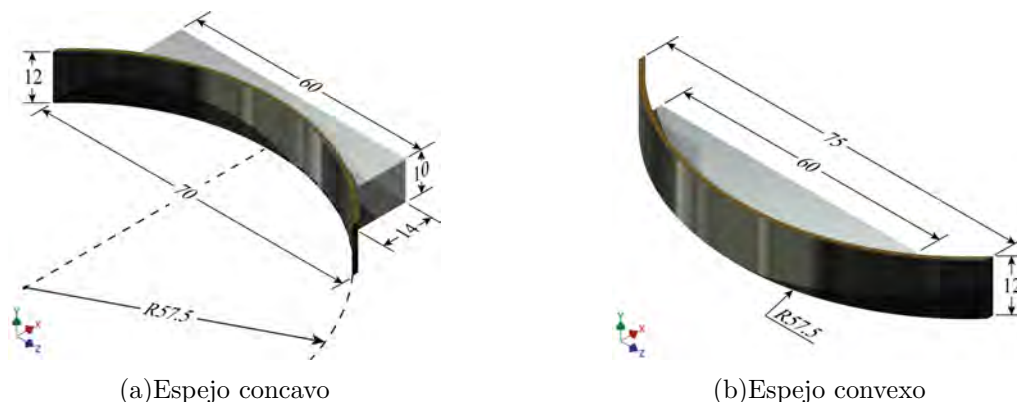


Figura 4.17: Planos de espejos curvos

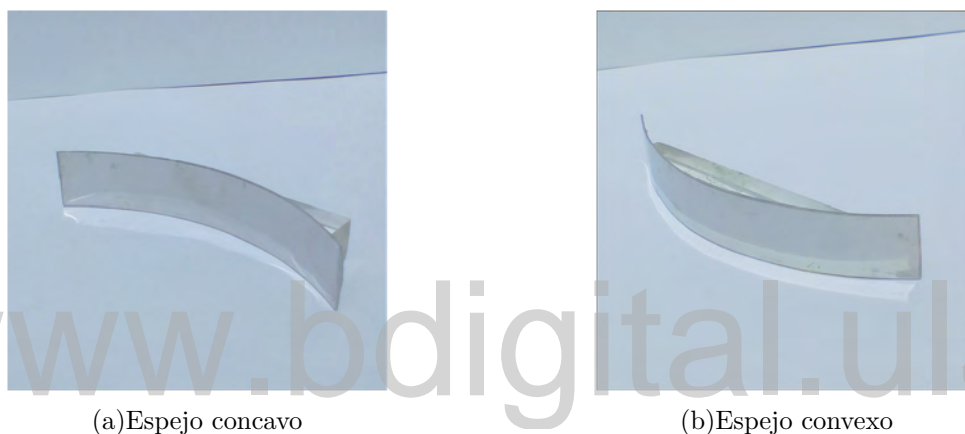


Figura 4.18: Espejos curvos

de uso común y podrían ser con las que los usuarios se puedan identificar. En la figura (4.19) se exhibe el diseño de ambas lentes.

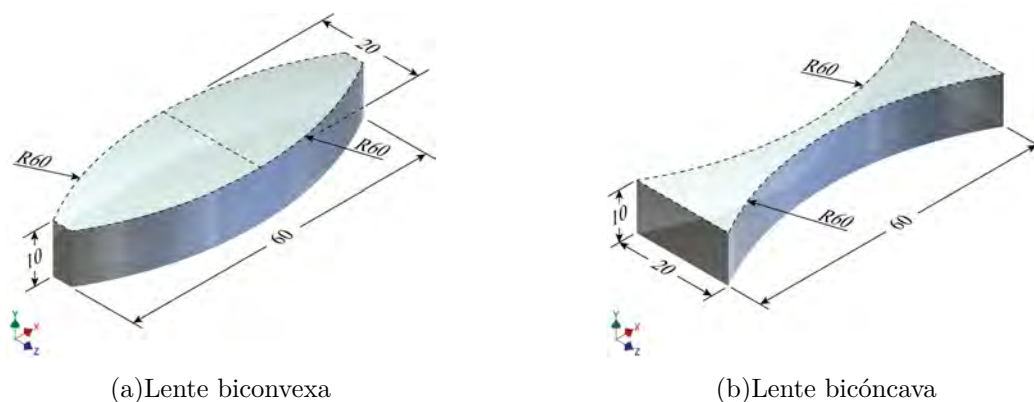


Figura 4.19: Plano de las lentes a fabricar

Por simplicidad ambas lentes se realizaron del mismo tamaño y radios de curvatura, con distancia focal igual a  $f = (61,2 \pm 0,8)mm$ , aclarando que dicha distancia focal



se obtuvo de la ecuación del fabricante de lentes (2.7). La fabricación de ambas lentes se realizó a partir del corte por láser de una lámina de acrílico de 10mm de espesor, seleccionando este método por ser preciso y dejar una superficie uniforme. Luego de cortadas las lentes se procedió al proceso de pulimento y acabado de las mismas, la cual se realizó en forma manual, haciendo uso de productos abrasivos como paños de microfibras, lijas y el reconocido Brasso para el acabado final. En la figura (4.20) se expone las lentes finalizadas y el punto focal.



(a) Lente biconvexa



(b) Lente biconcava

Figura 4.20: Lentes

#### 4.1.2.5. Reflexión total interna

La reflexión interna total como se describió en la subsección (2.2.5), consiste en hallar el ángulo para el cual un rayo que incide sobre una superficie de un material transparente no se logre refractar. En nuestro caso, el material de construcción es el acrílico, por tanto es necesario calcular el ángulo crítico  $\theta_c$ .

Por medio de la ecuación (2.4) hallamos dicho ángulo y siendo este igual a  $\theta_c = (42,22 \pm 0,9)^\circ$ . Una vez obtenido el ángulo crítico, se procedió a la realización del diseño del sistema óptico, en Internet existen infinidad de formas geométricas en las cuales se pueden demostrar la reflexión interna total, en nuestro caso recurrimos a la forma geométrica de trapecio rectangular, el cual tiene bastante similitud con la aplicación de la fibra óptica. En la figura (4.21) se expone el diseño de dicho sistema óptico.

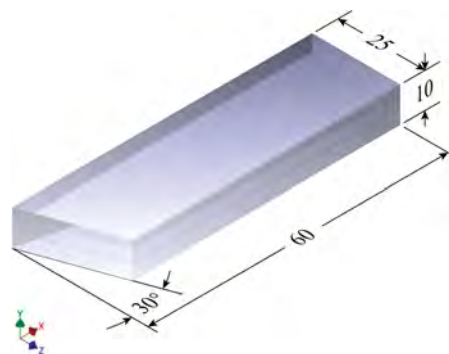


Figura 4.21: Plano de lente trapecio rectangular

La fabricación de este sistema óptico, se realizó de igual manera que en el caso de las lentes, partiendo de una lámina de acrílico de 10mm de espesor, se cortó mediante corte por láser CNC según las dimensiones dadas y luego pulida en forma manual hasta obtener una superficie lisa y totalmente transparente. En la figura

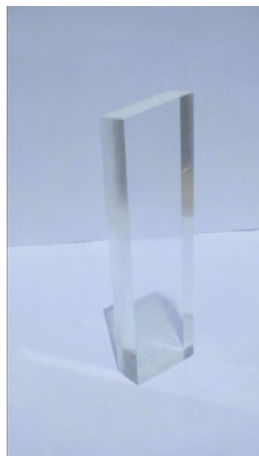


Figura 4.22: Lente para la experiencia de reflexión interna total

(4.22) se presenta el sistema óptico ya finalizado

### 4.1.2.6. Prisma de ángulo recto

Un prisma de ángulo recto, es un poliedro con base poligonal de tres lados compuesto por material transparente limitado por dos o mas caras planas, donde se cambia a voluntad la dirección de los rayos luminosos, de tal manera que cuando un rayo luminoso incide sobre la segunda cara, en lugar de refracción el rayo luminoso experimenta una reflexión interna total, emergiendo por la cara de entrada o por la otra. Estos prismas son de gran importancia en la construcción de instrumentos ópticos como: microscopios, telescopios y binoculares.

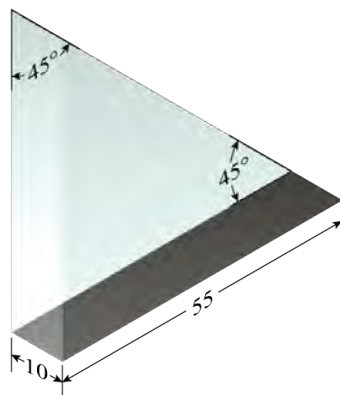
Para la fabricación de este sistema óptico, se realizó de igual manera que en el caso de las lentes, partiendo de una lamina de acrílico de 10mm de espesor, se cortó mediante corte por láser CNC según las dimensiones dadas y luego pulida en forma manual hasta obtener una superficie lisa y totalmente transparente. En la figura (4.23) se presenta el plano del sistema óptico ya finalizado

## 4.2. Diseño Mecánico

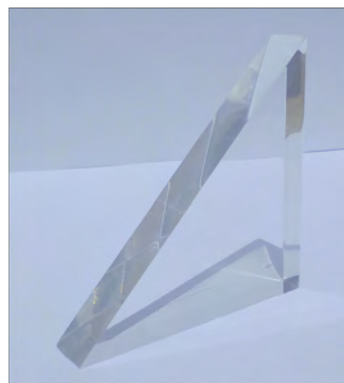
Una vez realizado el diseño de los elementos ópticos y de la fuente de luz, procedemos a realizar el diseño mecánico del sistema interactivo, que en conjunto con los elementos realizados en el anterior diseño lograremos obtener un banco óptico, para ello nos apoyamos en la figura (1.1) en las cuales se presentan dos bancos ópticos y los cuales fueron el punto de partida para el diseño mecánico, si bien ambos equipos guardan similitud con el diseño que pretendemos construir, estas carecen de características y funcionalidades que debemos implementar en nuestro diseño y que debemos tener en cuenta para el desarrollo mecánico, a ser ellas:

1. Implementar el goniómetro de manera independiente a cada elemento óptico.





(a) Plano de prisma de ángulo recto



(b) Lente bicóncava

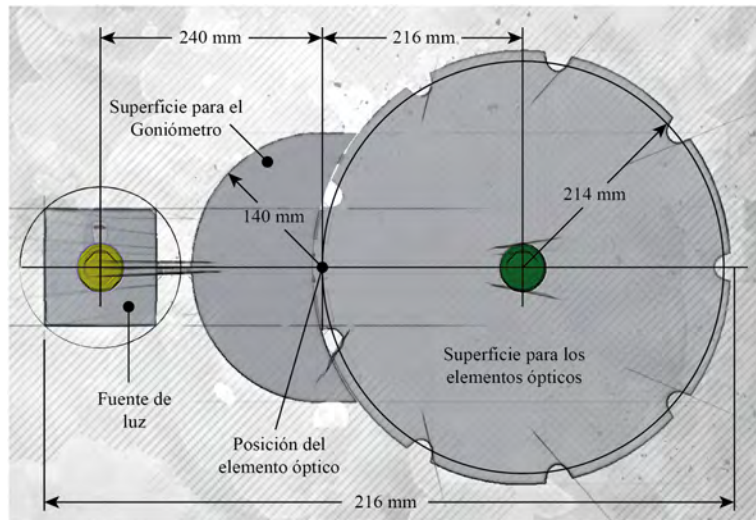
Figura 4.23: Distancia focal de las lentes

2. El diseño debe tener más espacio entre los elementos ópticos, para su señalización e identificación.
3. La fuente de luz debe girar entorno al elemento óptico y alternar entre uno y tres rayos de luz.
4. La bandeja de experiencias, lugar donde se fijarán los elementos ópticos, debe girar  $360^\circ$  con la finalidad de seleccionar diferentes experiencias.
5. Implementar el sistema de audio, resaltando que el diseño de algunas piezas deben ser realizadas para ajuste electro-mecánico.
6. El sistema interactivo en su totalidad debe estar confinado, teniendo en cuenta que el usuario deberá manipular la fuente de luz, la bandeja de experiencias y la reproducción del audio desde afuera del sistema.

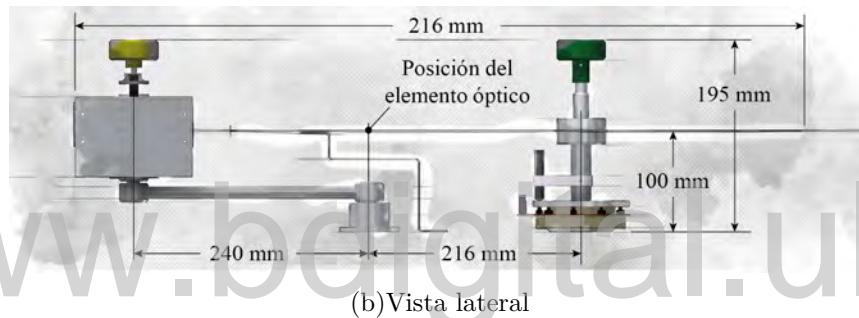
Luego de exponer las características a tener en cuenta para el desarrollo mecánico, es importante realizar el dimensionamiento del banco óptico teniendo como punto de referencia la posición en que se encontrará el elemento óptico, ver figura (4.24), en el cual se describe las dimensiones generales de las partes del banco óptico, las cuales marcarán el camino a seguir en el diseño específico. Además es necesario dividir dicho diseño en partes o subconjuntos con la finalidad de tener mejor entendimiento y ordenamiento a la hora de ensamblar el sistema interactivo por completo.

Es por ello que el diseño mecánico se divide en tres subconjuntos:

1. Subconjunto fuente de luz.
2. Subconjunto bandeja de experiencias.
3. Subconjunto armazón.



(a) Vista frontal



(b) Vista lateral

Figura 4.24: Dimensionamiento del banco óptico

### 4.2.1. Subconjunto fuente de luz

Este Subsistema como su nombre lo describe, es el encargado de albergar la fuente de luz (láser de línea colimado) y el cual se expone en la figura (4.24(a)). Como se logra observar el subconjunto esta compuesto por diferentes piezas donde cada una desempeña una función determinada.

El diseño del subconjunto se realizó en forma de brazo articulado, con la intención de que la caja que albergará la fuente de luz tenga la libertad de girar sobre su propio eje y realizar un movimiento circular en torno al elemento óptico, además de proporcionar espacio para la colocación del goniómetro, tal y como se expone en la figura (4.24(b)).

A continuación se describen las piezas que componen el subconjunto fuente de luz.

#### 4.2.1.1. Base 1

El diseño de la Base 1 consistió en la realización de una pieza en forma cilíndrica mecanizada a partir de una barra de aluminio de  $\frac{5}{2}$ " de diámetro y la cual será el soporte de todo el subconjunto fuente de luz. En la figura (4.26) se expone las dimensiones y la

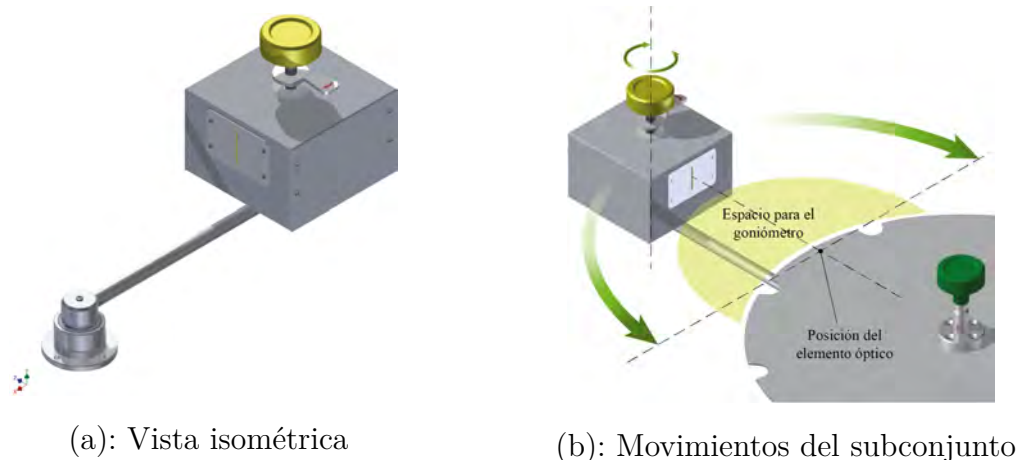


Figura 4.25: Subconjunto fuente de luz

vista isométrica de dicha pieza.

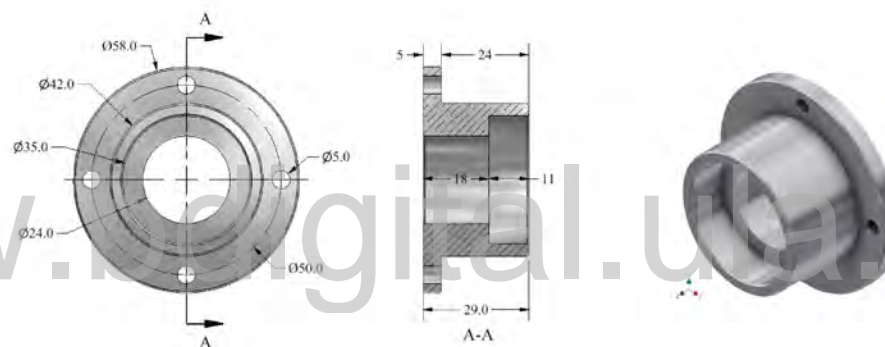


Figura 4.26: Base 1

Para la fabricación de la Base 1, en primer lugar se realizan las operaciones de cilindrado de  $58\text{ mm}$  y  $42\text{ mm}$  de diámetro en el torno, para luego cilindrarlo internamente a  $24\text{ mm}$  y  $35\text{ mm}$  de diámetro, lugar donde se alojarán el anillo de poliuretano y el rodamiento SKF 6002 respectivamente, los cuales otorgarán resistencia y alineación al [Eje 1](#) respecto al eje axial de la Base 1, formando una articulación rotacional. Finalmente se perforan los cuatro agujeros pasantes de  $5\text{ mm}$  de diámetro, por los cuales pasarán los tornillos M5 para la sujeción del subconjunto a la [Tabla posterior](#)

#### 4.2.1.2. Eje 1

El Eje 1 fue realizado partiendo de una barra maciza de aluminio de  $\frac{5}{4}''$ , la cual se mecanizo siguiendo las dimensiones expuestas en la figura (4.27).

Primeramente se realizó la operación de cilindrado de  $15\text{ mm}$  de diámetro, destacando que es esta sección es la que se alojará en el anillo interno del rodamiento SKF 6002 y el anillo de poliuretano, para luego insertarlo en la [Base 1](#), completando así la primera articulación. Luego se cilindró la sección de  $25\text{ mm}$  de diámetro, donde se perforó un

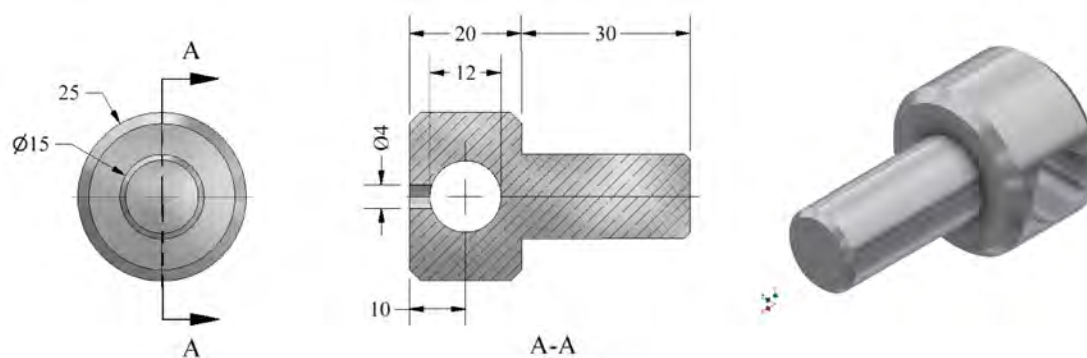


Figura 4.27: Eje 1

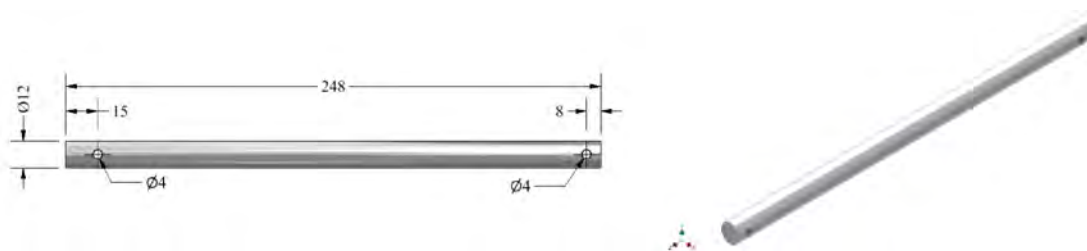


Figura 4.28: Varilla

agujero pasante de 12 mm de diámetro, finalmente se perfora el agujero pasante de 4 mm de diámetro para la sujeción de la Varilla mediante un tornillo M4X16.

#### 4.2.1.3. Varilla

La varilla es una pieza realizada a partir de una barra de aluminio de 12 mm de espesor, su función es servir como extensión de la primera articulación rotacional. En la figura (4.28) se presenta su diseño.

En la varilla solo se realizaron dos perforaciones para roscas M3, donde uno de los extremos se fija con el Eje 1 y el otro extremo al Eje 2 mediante dos tornillos M3X16.

#### 4.2.1.4. Eje 2

Al igual que el Eje 1, el eje 2 se realizó partiendo de una barra de aluminio de 5/4", la cual se mecanizó siguiendo las dimensiones descritas en la figura (4.29).

Esta es quizás una de las piezas de mayor dificultad a la hora de mecanizarla, puesto que conlleva varias operaciones de perforado, roscado y cilindrado en el torno. Como se logra observar, en el agujero de 12 mm de diámetro se alojará el extremo faltante de la Varilla fijándola al eje mediante un tornillo M4, mientras que por la perforación axial de 6 mm de diámetro, se pasarán los cables que alimentarán de energía eléctrica a la fuente de luz (láser de línea colimado), la cual se fijará en esta pieza mediante una tuerca M6 en el extremo roscado M6X1.

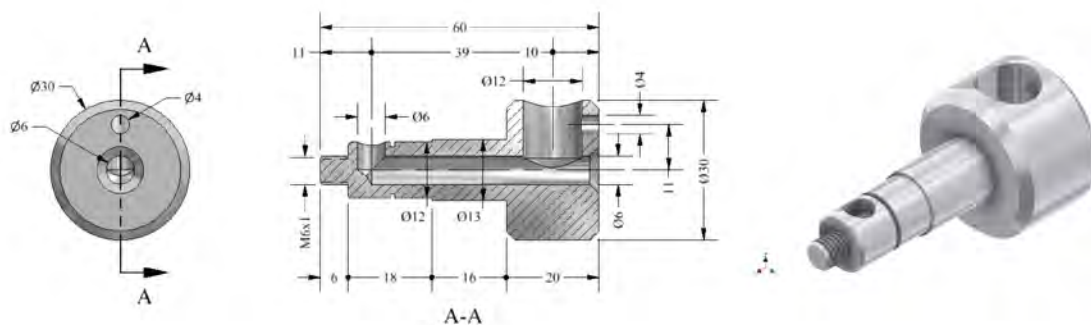


Figura 4.29: Eje 2

#### 4.2.1.5. Base de la caja

La base de chapa consiste en una pieza cilíndrica mecanizada desde una barra de aluminio macizo de 2" de diámetro, donde la función principal de esta pieza es mantener la rotación y sujeción de [La caja](#) respecto al [Eje 2](#). En la figura (4.30) se expone el diseño de dicha base.

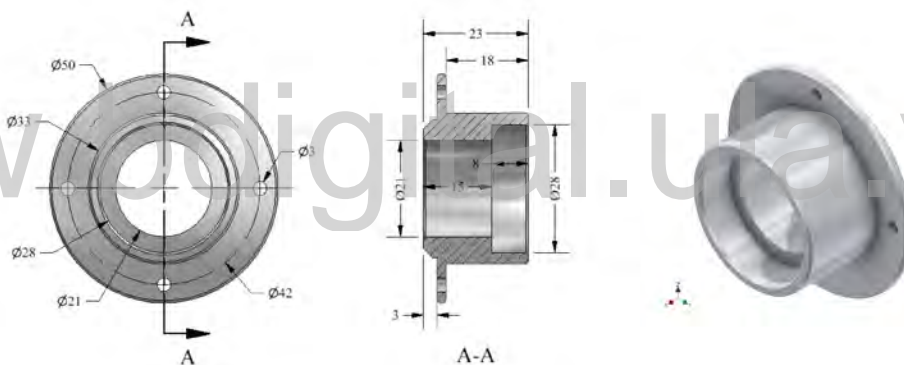


Figura 4.30: Base de la caja

Para la fabricación de esta pieza se siguieron las especificaciones dadas en la anterior figura, cilindrando primero los diámetros externos de 50 mm y 33 mm en el torno, para luego cilindrar internamente los diámetros de 21 mm y 28 mm, secciones donde se alojarán el rodamiento SKF 6202 y el anillo de poliuretano, con la finalidad de mantener el centro axial con el [Eje 2](#) y formando la segunda articulación rotacional. Por último se realizaron cuatro perforaciones pasantes de 3 mm de diámetro en el taladro, haciendo uso del plato divisor, siendo este lugar donde se fijará [La caja](#).

#### 4.2.1.6. La caja

El diseño de la caja tiene la función de mantener confinada la fuente de luz, debido al uso de los láseres, para formar la caja se realizaron dos piezas llamadas Chapa 1 y Chapa 2, En las figura (4.31) y (4.32) se expone el diseño de dichas piezas, las cuales se realizaron partiendo de una chapa de aluminio de 2 mm de espesor.



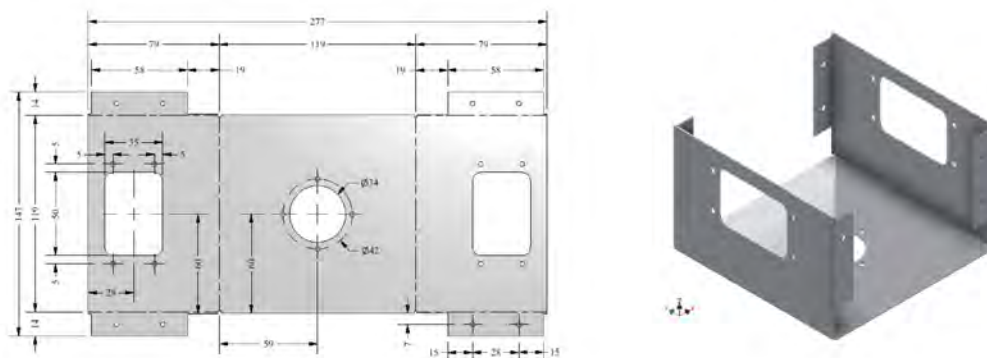


Figura 4.31: Chapa 1

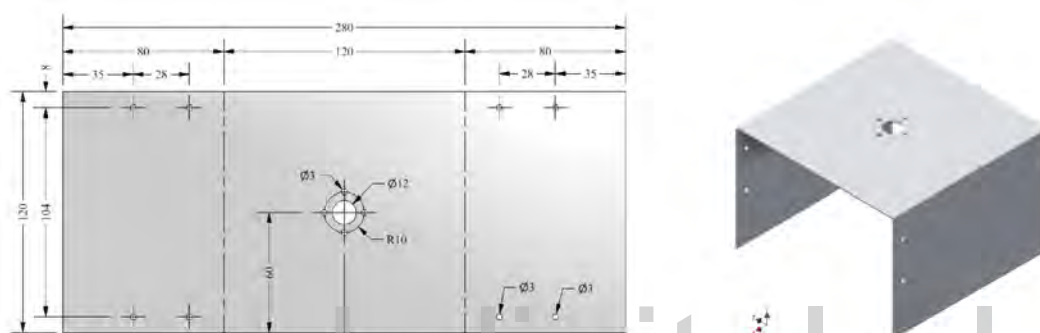


Figura 4.32: Chapa 2

En la chapa 1 se realizó un agujero central de  $34\text{ mm}$  de diámetro, lugar donde se ajustará con la [Base de la caja](#) y a sus lados se realizaron dos cortes rectangulares de  $(50 \times 35)\text{ mm}$  para la colocación de los diafragmas. En la chapa 2 solo se realizó un agujero de  $12\text{ mm}$  de diámetro, lugar en el que se acoplará con el [Eje 3](#) mediante cuatro tornillos M3.

Cabe destacar, que para la realización de ambas chapas, se contrató una empresa externa, donde realizaron el corte mediante un router de control numérico, para luego realizar los dobleces.

### 4.2.1.7. Eje 3

El Eje 3 consiste en una pieza cilíndrica mecanizada partiendo de una barra de aluminio de  $\frac{5}{4}''$ , donde su función principal es servir de conexión entre [La caja](#) y la [Perilla](#). En la figura (4.33) se expone el diseño de dicha pieza.

Para la realización del Eje 3, en primer lugar se cilindró la sección de  $5\text{ mm}$  de diámetro, especificando que en esta sección es donde ira la [Palanca de ajuste](#) y la sujeción de la [Perilla](#) mediante un tornillo M4 que pasa a través del agujero pasante de  $4\text{ mm}$  de diámetro, situado a  $12\text{ mm}$  del tope. Por ultimo se cilindra la sección de  $30\text{ mm}$  de diámetro y luego se realizó las cuatro perforaciones pasantes de  $3\text{ mm}$  de diámetro, la

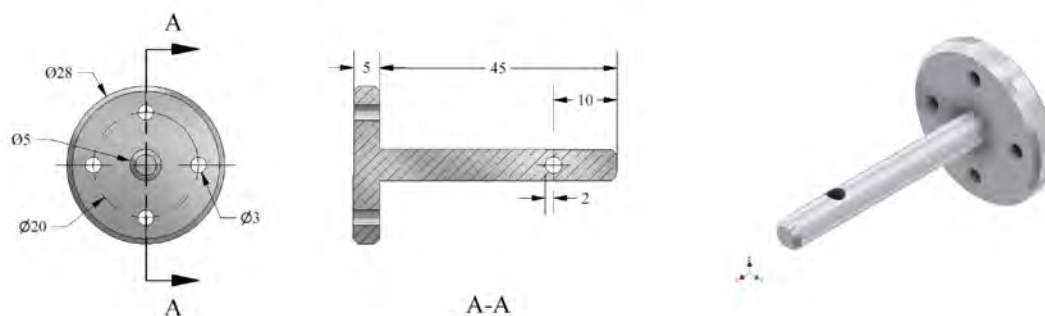


Figura 4.33: Eje 3

cual se acoplará con la chapa 2 mediante cuatro tornillos M3x8.

#### 4.2.1.8. Palanca de ajuste

La palanca de ajuste fue implementado en el subconjunto fuente de luz debido a que dicho subconjunto se encontrará en forma vertical, es decir, el eje de rotación del subconjunto se encuentra apuntando hacia el usuario, es inevitable que el subconjunto tienda a caerse debido a la fuerza gravitacional. Es por ello que se implemento el sistema de sujeción que no es mas que un sistema de contra tuerca. En la figura (4.34) se exhibe el diseño de dicho sistema.

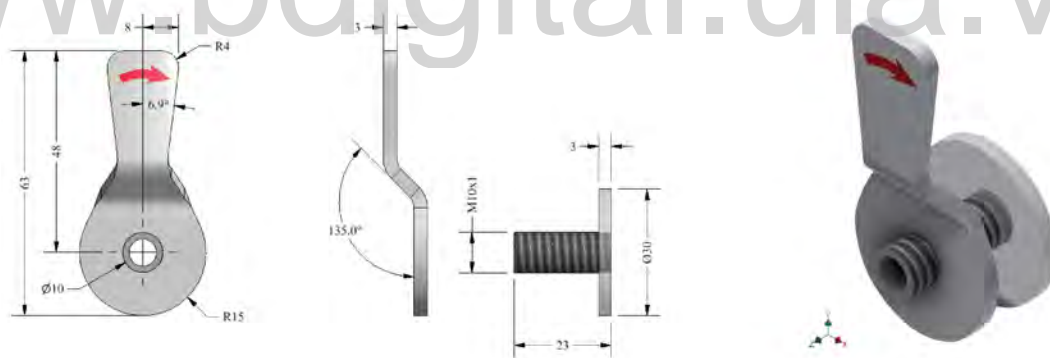


Figura 4.34: Palanca de ajuste

La palanca de ajuste consiste en un tubo con roca externa, un tope y una palanca, es importante que el tubo sea hueco en toda su longitud, puesto que por su interior pasará el Eje 3 permitiendo que La caja gire una vez que se fije la palanca.

#### 4.2.1.9. Perilla

El diseño de la perilla se realizó teniendo en cuenta que debía ser cómodo para el usuario además de ser vistoso, dicha pieza se realizó partiendo de una barra maciza de aluminio de 2" en las cuales se realizaron operaciones de refrentado, cilindrado y moleteado en el torno, tal y como se muestra en la figura (4.35).



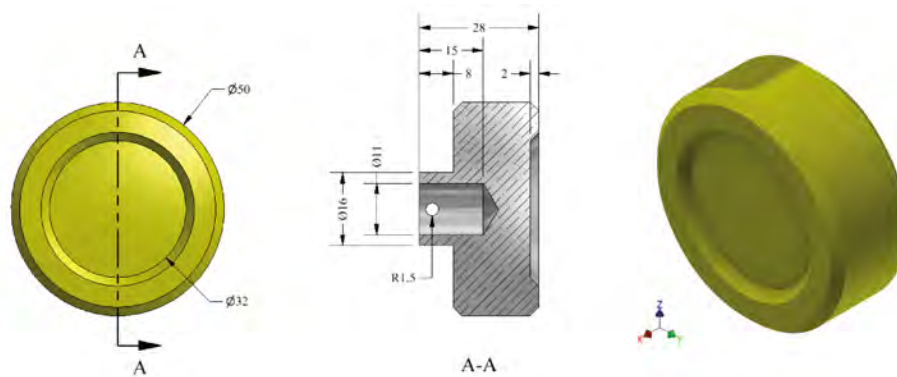


Figura 4.35: Perilla

Cabe destacar que la operación de moleteado se realizó en el diámetro de 50 mm en la pieza (la cual no se logra observar debido a fallas de renderizado en INVENTOR), y su función es proporcionarle cierto agarre al usuario para que no resbale en sus manos.

Una vez realizado todas las piezas que compondrán el subconjunto fuente de luz, se procede a realizar el ensamble o el armado del subconjunto, siguiendo las proyecciones descritas en la vista estallada expuesta en la figura (A.4) y del plano de conjunto (ver figura (A.3)) descritos en el Apéndice A.

#### 4.2.2. Subconjunto Bandeja de experiencias

El diseño del subconjunto bandeja de experiencias se realizó en función de las dimensiones preliminares descritas en el boceto (4.24) y las características descritas en la sección (4.2), donde se estableció que la superficie que contendría los elementos ópticos, debía tener la capacidad de girar 360° respecto a su propio eje. En vista de resolver este problema, se estableció que la solución mas conveniente fue realizar el diseño del subconjunto en torno a un eje central, en el cual a lo largo de su longitud se colocarán las diferentes partes del subconjunto. En la figura (4.36) se exhibe el diseño del subconjunto.

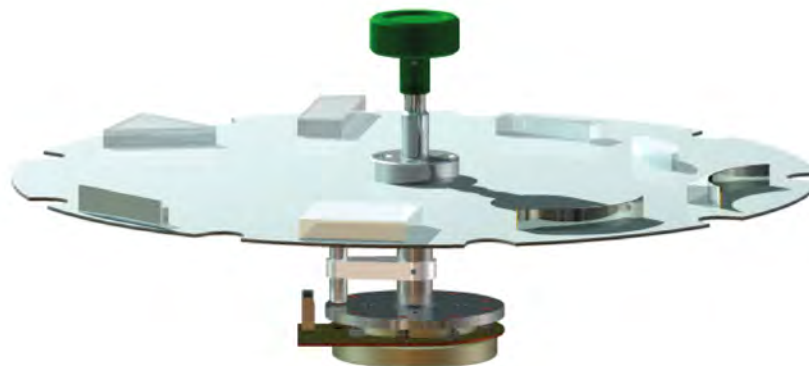


Figura 4.36: Subconjunto Bandeja de experiencias

Como se observa en dicha figura, el subconjunto esta compuesto por múltiples partes, las cuales se expondrán a continuación.

#### 4.2.2.1. Base 2

En la Base 2 se realizó un diseño un poco complejo, puesto que dicha pieza soportará todo el subconjunto, además de proporcionar una superficie estable para el TECLADO CIRCULAR, por ende, la pieza no se debía fabricar en metal, por tanto la mejor opción que se tuvo, fue fabricarla en Nylon por ser un material dieléctrico. En la figura (4.37) se expone el diseño.

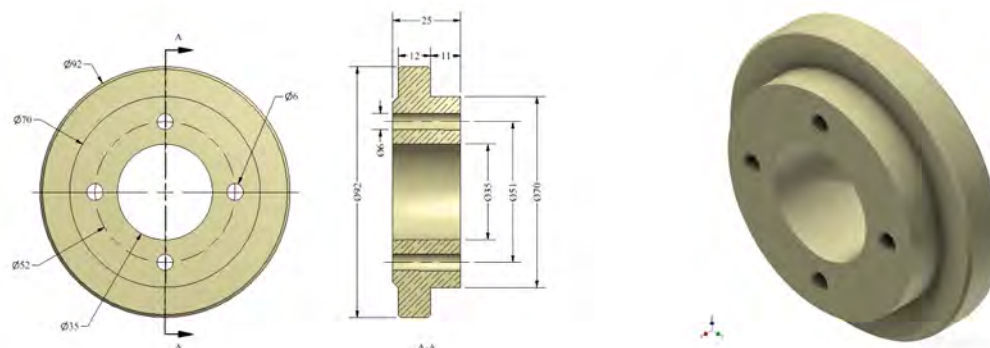


Figura 4.37: Base 2

Para la realización de la base 2, en primer lugar se realizaron las operaciones de cilindrado externo de 70 mm y 92 mm de diámetro, creando con esto una pestaña sobre la cual reposará el TECLADO CIRCULAR, luego se realizan los cilindrados internos de 35 mm y 25 mm de diámetro, especificando que en esta sección se ajustarán los anillos externos de dos rodamientos SKF-6202 los cuales mantendrán alineados al Eje 4. Por último se realizan cuatro perforaciones pasantes de 6 mm de diámetro en el taladro y haciendo uso del plato divisor, con la finalidad de sujetar la base 2 a la TABLA POSTERIOR mediante cuatro tornillo M6x1.

#### 4.2.2.2. Eje 4

El diseño del Eje 4 es de gran relevancia puesto que gran parte del subconjunto se apoyará en él, por tanto es importante tener en cuenta la altura de la fuente de luz para la colocación de la superficie que soportará los elementos ópticos. En la figura (4.38) se exhibe el diseño del eje.

La fabricación del Eje 4 se realizó partiendo de una barra maciza de 1", cilindrando en primer lugar la sección de 15 mm de diámetro, sección que se insertará en los anillos internos de los dos rodamientos SKF-6202, además se realizó también el canal para el anillo de retención DIN 471, el cual evitará el movimiento axial del eje. Luego se realizan las operación de cilindrado de 20 mm, 16 mm y 12 mm de diámetro.

Una vez que se realizan todas las operaciones de cilindrado del eje, se procede a realizar las operaciones de perforado, como se logra observar en la anterior figura, se realizaron tres perforaciones roscadas M4x1, las primera de ellas se encuentra a 51 mm desde el tope, siendo este lugar donde se fijará la Viela, la segunda de izquierda a derecha se

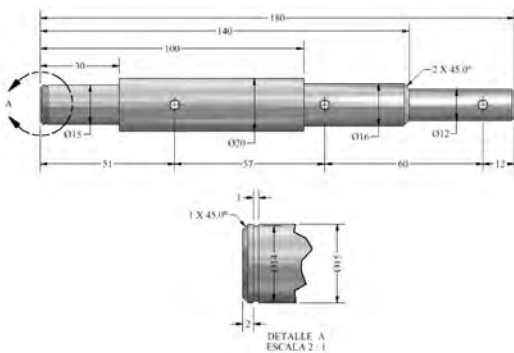


Figura 4.38: Eje 4

fixara la arandela de la bandeja de experiencias y por ultimo, en la tercera perforación se fijará la perilla del subconjunto.

### 4.2.2.3. Selector

El selector es un sistema electro-mecánico que ha sido implementado en el subconjunto Bandeja de experiencias, con la finalidad de cargar automáticamente la pista de audio en el SOMO-14D cuando seleccione la experiencia deseada. En la figura (4.39) se exhibe el sistema electro-mecánico.

Como puede observar dicho sistema estará compuesto por diferentes elementos o partes, a ser ellos: la viela, el opresor de balón, el plato selector y el teclado circular, cabe destacar que el teclado circular se describirá en la sección de diseño electrónico.

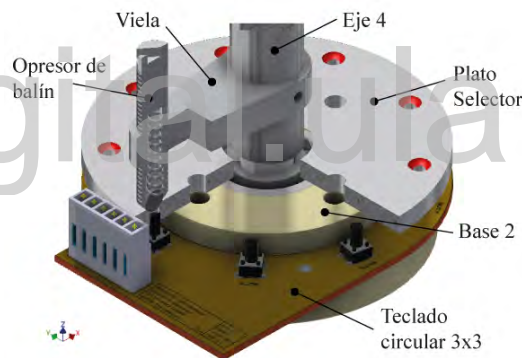


Figura 4.39: Sistema electro-mecanico

### Plato selector

El plato selector consiste en una placa de aluminio de 6 mm de espesor, perforada siguiendo las dimensiones expuestas en la figura (4.40).

Como se logra observar en ella se perforaron nueve agujeros pasantes, separados cada 40° describiendo una circunferencia de 85 mm de diámetro, aclarando que en estos agujeros serán por donde pasaran los pulsadores del teclado circular y el opresor de balón se ajustará al plato selector, gracias al avellanado circular realizado en cada agujero, tal y como se muestra en el detalle B de la anterior figura.

Por ultimo se realizaron cuatro perforaciones pasantes de 6 mm de diámetro en el

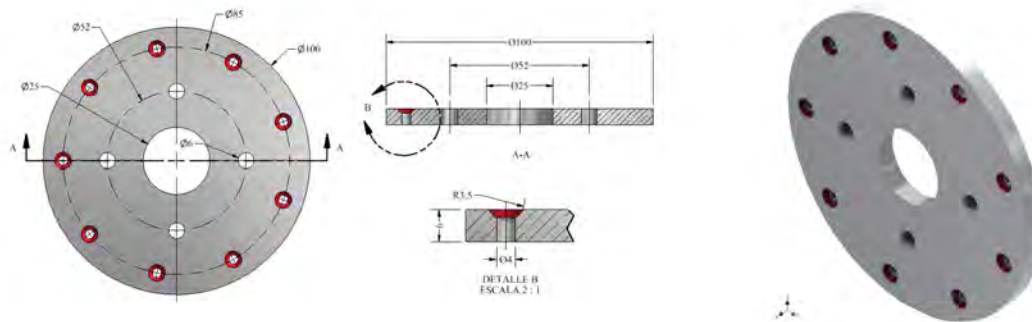


Figura 4.40: Placa Selectora

taladro, en los cuales pasarán cuatro tornillo M6x1 para fijar el plato selector a la [Base 2](#) y la [Tabla posterior](#)

### La viela

El diseño de la viela fue realizado con la intención de proporcionar una conexión entre el [Eje 4](#) y el opresor de balín. En la figura (4.41) se expone su diseño.

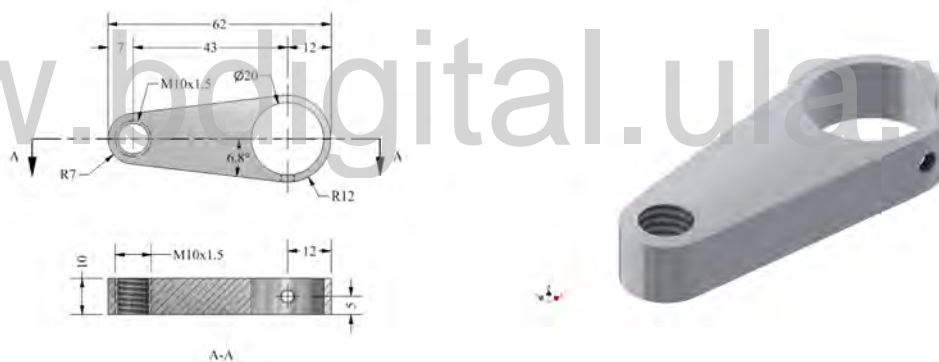


Figura 4.41: Vuela

Para la fabricación de la viela se partió de un segmento de aluminio de 10 mm de espesor y mecanizado siguiendo las dimensiones descritas en la anterior figura, como puede observar se realizaron dos agujeros, uno pasante y el otro roscado, por el agujero pasante pasará el [Eje 4](#) y se fijará mediante un tornillo M4x1 a través de la perforación realizada a un costado de la pieza, luego en el agujero roscado se colocará el opresor de balín.

#### 4.2.2.4. Bandeja de experiencias

El diseño de la bandeja de experiencias se realizó teniendo como objetivo, proporcionar una superficie lo suficientemente grande para la colocación de todos los elementos ópticos, así como también proporcionar espacio para identificadores o definiciones. En la figura (4.42) se exhibe el diseño realizado.

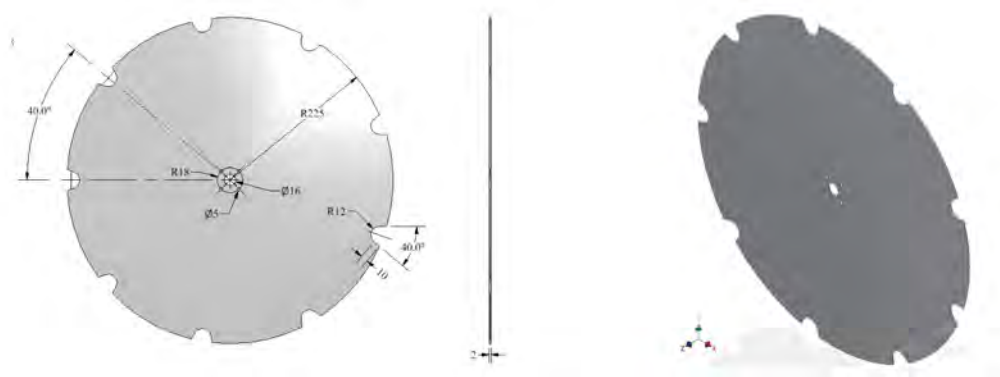


Figura 4.42: Bandeja de experiencias

Para la fabricación de la bandeja de experiencias fue necesario contratar una empresa especializada en cortes de aluminio debido a las grandes dimensiones y la precisión que conlleva, el corte se realizó mediante un router CNC según las dimensiones descritas en la figura (4.42). Cabe destacar que el diseño de la bandeja se realizó con la forma de rueda dentada, con la finalidad de separar los espacios donde se situaran los elementos ópticos.

### 4.2.2.5. Arandelas

Las arandelas consisten en dos piezas cilíndricas que tienen como objetivo fijar la [Bandeja de experiencias](#) al [Eje 4](#), para la realización de dichas piezas se partió de una barra maciza de aluminio de 2" de diámetro, mecanizándolas siguiendo las dimensiones descritas en las figura (4.43) y (4.44).

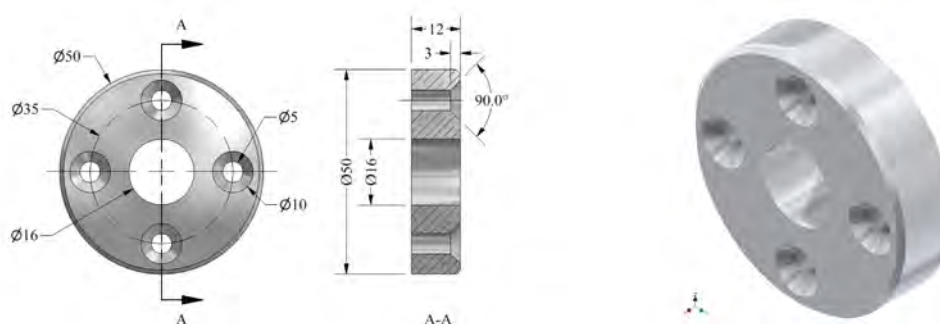


Figura 4.43: Arandela 1

### 4.2.3. Subconjunto del armazón

El diseño del armazón del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica, se realizó teniendo como objetivo otorgar confinamiento y soporte a los anteriores subconjuntos descritos, así como también proporcionar espacio para la realización de la consola para la implementación de los circuitos electrónicos. Es importante tener en cuenta que el diseño del armazón debe ser atractivo a primera vista, debido a que será lo primero

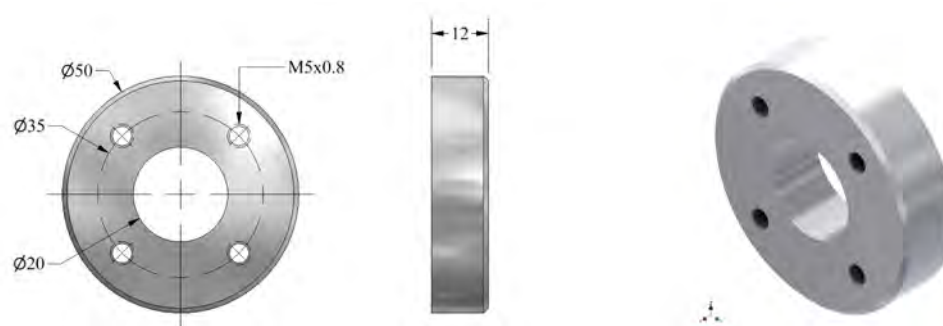


Figura 4.44: Arandela 2

que verán los usuarios.

La fabricación de todas las partes que componen el subsistema del armazón se realizaron partiendo de compuesto MDF (Melamina) de 10 mm de espesor con acabado de caoba, a excepción de la tapa frontal. A continuación se presentan sus partes.

#### 4.2.3.1. Tabla posterior

El diseño de la tabla posterior del sistema interactivo, es de vital importancia puesto que en ella se fijarán los subsistemas antes descritos, para ello se realizaron ocho perforaciones pasantes M6, cuatro por cada subsistema y separadas entre ellas por 216 mm, tal y como se muestra en la figura (4.45).

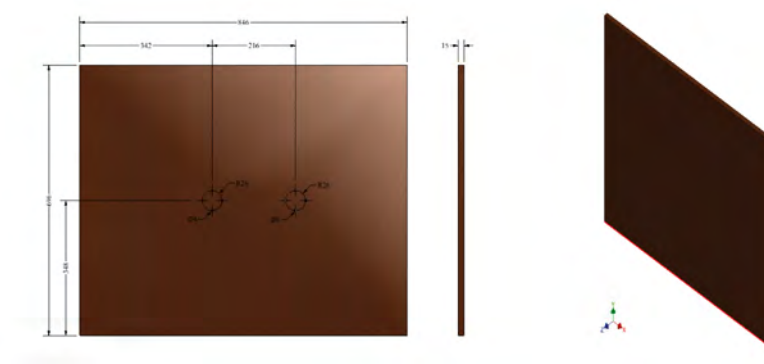


Figura 4.45: Tabla posterior

#### 4.2.3.2. Tabla lateral

El diseño de la tabla lateral del armazón se realizó en forma de bota, con la intención de proporcionar sujeción a la [Tabla de la consola](#) y la [Tapa frontal](#). En la figura (4.46) se expone dicho diseño.



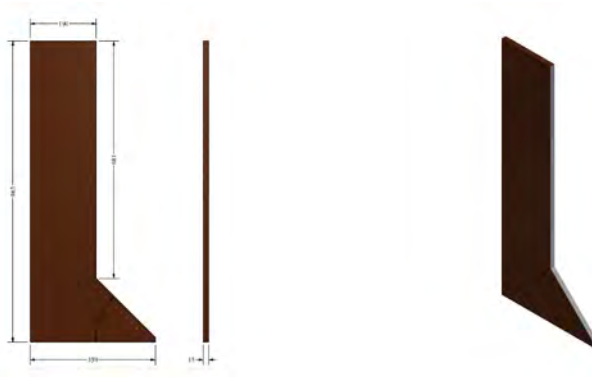


Figura 4.46: Tabla lateral

#### 4.2.3.3. Tabla de la consola

La tabla de la consola es el lugar donde se colocarán los periféricos de entrada y salida de los componentes electrónicos, permitiendo además de proporcionar espacios para la colocación de instrucciones y cédula informativas. En la figura (4.47) se exhibe el diseño de la tabla de la consola.



Figura 4.47: Tabla de la consola

#### 4.2.3.4. Tapa frontal

El diseño de la tapa frontal del subsistema del armazón se realizó en acrílico transparente de 10 mm de espesor, permitiendo que el usuario tenga una completa visión del desarrollo de las experiencias. En relación a la fabricación de la tapa frontal, de igual manera que en la bandeja de experiencias el mecanizado fue realizado mediante corte CNC según las especificaciones descritas en la figura (4.48). En la cual se logra observar un corte en forma de arco, que servirá de guía para el subsistema de la fuente de luz y una perforación de 12,5 mm de diámetro, por el cual atravesará el Eje 4 del subsistema de la bandeja de experiencias.



---

T.M.I. Marcial González

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# 5 CAPÍTULO

## ***DISEÑO ELECTRÓNICO E INSTRUCCIONAL***

*Creatividad es un acto de fe; para crear, primero hay que creer – Miguel Ángel Cornejo*

En este capítulo se presentará la última parte correspondiente al diseño detallado de la metodología, específicamente el diseño electrónico e instruccional, exponiendo la realización del sistema embebido, el desarrollo de las placas PCB, así como también el diseño de las pistas de audio y gráficos correspondientes al diseño instruccional que serán implementados bajo la metodología ADDIE.

### **5.1. Diseño Electrónico**

Por definición, el diseño electrónico consiste en el estudio, análisis, desarrollo y resolución de problemas dentro del campo de la electrónica. El diseño electrónico involucra tres ramas fundamentales de la tecnología: el *hardware* hace referencia al desarrollo y fabricación de tarjetas electrónicas, circuitos impresos PCB, componentes eléctricos y accesorios, por otro lado se tiene que el *firmware* consiste en el desarrollo de las instrucciones o programas de bajo nivel que por lo general están en los sistemas programables o sistemas embebidos a los que los usuarios comunes no pueden acceder o alterar, por ultimo, se encuentra el *software* que concierne a programas residentes en dispositivos tales como computadoras, teléfonos inteligentes, tablets, etc.

En nuestro caso nos centraremos en el *hardware* y *firmware*, fueron desarrollados en ***MikroC PRO for PIC***, que es un compilador desarrollado por la compañía Mikroelektronika, empleado para el desarrollo del código de programación (.hex) que será cargado en el PIC-16F628A, por otro lado se empleo ***Proteus Design Suite***, que es un software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd y consta de dos programas principales: ***Ares*** e ***Isis*** y los módulos ***VSM***.

***Ares*** (Advance routing and Editing Software) se especializa en el enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza generalmente para la fabricación de placas de circuito impreso PCB, por otro lado ***Isis*** (Intelligent Schematic and Input System) que junto con

el modulo **VSM** permiten diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar, además de simularlos en tiempo real.

El diseño y desarrollo del sistema embebido que se implementará en el sistema interactivo para la enseñanza de óptica geométrica está conformado por cinco sistemas que hacen posible su funcionamiento, desde una perspectiva general se tiene un sistema de alimentación que sustenta al sistema de control de energía eléctrica, luego se tiene el sistema del teclado matricial que por medio de señales analógicas envía información al sistema de control para que este proceda a realizar las acciones programadas activando o desactivando el sistema de la fuente de luz y el sistema de audio. En la figura (5.1) se expone el diagrama de bloques del sistema embebido.

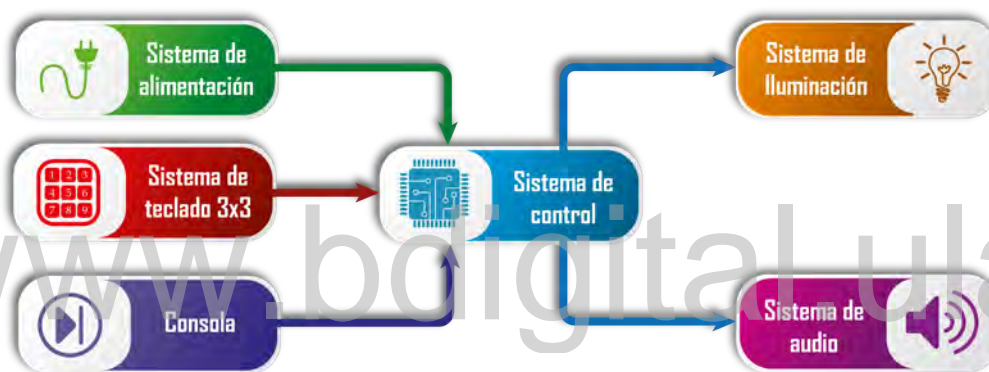


Figura 5.1: Diagrama de bloques del sistema embebido

### 5.1.1. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es un componente importante en el sistema electrónico, puesto que su función es alimentar en su totalidad al circuito. En nuestro caso se implementó como sistema de alimentación una fuente de poder ATX (Advanced technology extended) comúnmente utilizadas en computadoras, debido a sus altas prestaciones y estabilidad en la entrega de voltajes, siendo este un punto de gran importancia debido a que es necesario para el correcto funcionamiento de los demás sistemas, es claro que este tipo de fuentes de alimentación tienen la capacidad de entregar voltajes que van desde los 3,3V hasta 12V, para nuestro caso se usó solamente los voltajes de 3,3V, 5V y GND (GROUND o tierra). En las figuras (5.2 y 5.3) se exhibe la fuente de poder utilizada y sus especificaciones.



Figura 5.2: Fuente de poder ATX

430W		MODEL: APL-880X1A(PFC)		PART NO.: ATX2PW430PRO		StarTech.com	
AC INPUT	VOLTAGE	CURRENT		FREQUENCY			
	100-240V	10-5A		47-63Hz			
DC OUTPUT	+3.3V	+5V	+12V1	+12V2	+12V3	+12V4	-12V
	24A	24A	25A	25A	25A	25A	0.5A
MAX.	140W	395W	411.5W	0W	12.3W		

**CAUTION: HAZARDOUS AREA**  
DO NOT OPEN THE POWER SUPPLY. SELECT THE RIGHT VOLTAGE!

UL, CE, FCC, RoHS

Figura 5.3: Especificaciones de voltajes de fuente de poder

### 5.1.2. Sistema de teclado matricial

El sistema teclado matricial fue implementado en el sistema interactivo de enseñanza de óptica geométrica con la intención de identificar cual de las experiencias fue seleccionada y así enviar los datos al sistema de control para que este a su vez los envíe al sistema de audio y reproduzca la pista de audio correspondiente a la experiencia seleccionada. Para el diseño y desarrollo del teclado matricial es necesario recordar que el diseño electrónico se divide en dos partes, a ser ellas el firmware y el hardware las cuales se expondrán a continuación.

El desarrollo del firmware se realizo en Mikroc haciendo uso de la función llamada Keypad Library que se encuentra implementada en el compilador de Mikroelektronika. En la figura (5.4) se expone el esquema de conexión del teclado al microcontrolador y su funcionamiento es de la siguiente manera:

1. El teclado se conecta al puerto B del microcontrolador (PORTB), de él, cuatro pines del microcontrolador (RB4 - RB7) se configuran como salidas, mientras que los otros cuatro (RB0 - RB3) como entradas, aclarando que esta configuración es para un teclado 4X4. Para que el teclado funcione correctamente las resistencias *pull-down* se deben conectar a los pines de entrada del microcontrolador. Definiendo así el estado lógico sin necesidad de pulsar ningún botón.
2. Luego, los pines de salida se colocan a un 1 lógico (uno), mientras que se lee el estado lógico de los pines de entrada. Al pulsar un botón, un uno lógico (1) aparecerá en algún pin de entrada.
3. Al combinar unos y ceros en los pines de salida, se define cual botón fue pulsado y el sistema de control enviara los datos al sistema de audio.

Una vez descrito el funcionamiento y la forma de implementar el teclado matricial con el microcontrolador, pasamos a la realización del diagrama de flujo y el código de programación (.Hex), los cuales se presentan en el Apéndice B figura (B.1).

En lo que se refiere a desarrollo del hardware o la fabricación del circuito impreso PCB, fue necesario que el teclado tuviera forma circular debido a la disposición del **Selector** el cual se logra observar en la figura (4.39). El diseño del circuito impreso PCB

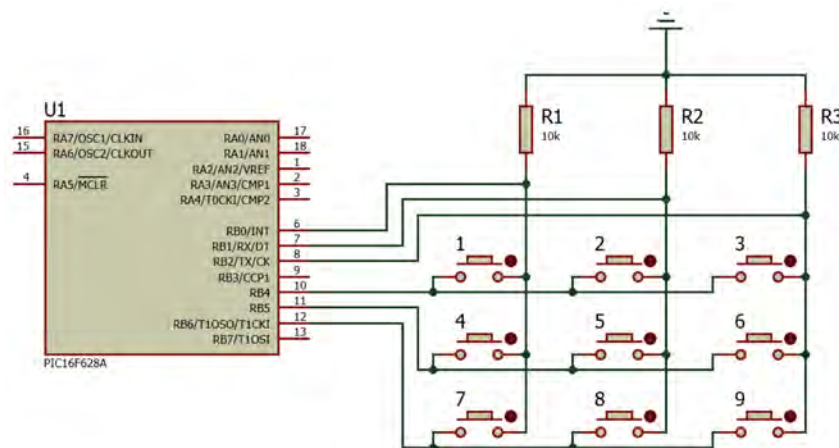
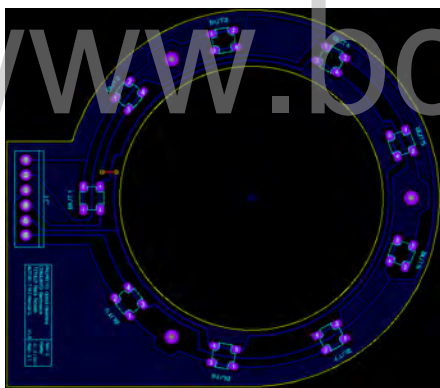
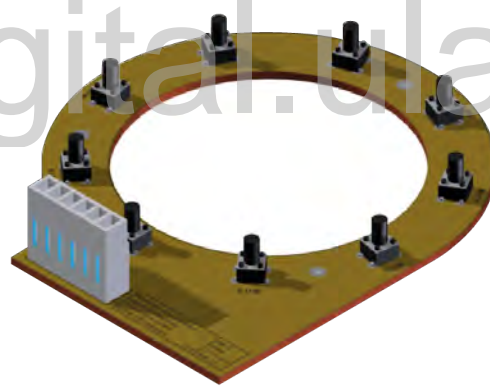


Figura 5.4: Esquema de conexión del teclado 3x3

del teclado se realizó en Ares realizando cada una de las conexiones correspondientes y disponiendo cada uno de los pulsadores en un patrón circular y su conexión correspondiente al sistema de control mediante el conector J1, en la figura (5.4(a)) se expone el diagrama esquemático del teclado (Capas Top Silk y Bottom Copper) y en la figura (5.4(b)) se exhibe el diseño ya ensamblado en diseño CAD.



(a): Diagrama esquemático



(b): Vista isométrica CAD

Figura 5.5: Teclado matricial 3x3

Una vez se tiene el diseño o el diagrama esquemático se realizan los siguientes pasos para la creación de la tarjeta.

1. Se imprime el diagrama en vista estándar en papel transfer con impresora láser.
2. Se plancha el impreso sobre la tarjeta virgen colocando la parte de cobre frente a la parte impresa del papel, utilizando una plancha casera.
3. A continuación se sumerge en agua para quitar el papel restante dejando únicamente las pistas y se procede a sumergirla en la solución de percloruro de hierro y agua esperando aproximadamente 10 minutos.

4. Se limpia la tarjeta y se procede a lijar para quitar la tinta que esta sobre las pistas.
5. Se le aplica una capa de estaño para evitar que se oxide impregnando primero la placa con pomada para soldadura.
6. Se perforan los orificios.
7. Se procede a soldar cada uno de los componentes en su respectiva posición.

### 5.1.3. Sistema de fuente de luz

El sistema de fuente de luz, tal y como se describió en la sección (4.1.1) consta de tres láseres de punto los cuales fueron convertidos a láseres de línea mediante el uso de lentes, es de aclarar que para el uso de los láseres es necesario una fuente de alimentación estable debido a la alta sensibilidad de los láseres, en la que se requiere un voltaje estable de 5 V tal y como se describe en la tabla (4.1).

El diseño electrónico del sistema de la fuente de luz requería que el encendido de los láseres se realizara en forma automática, es decir, que la fuente de luz encendiera y apagase por si sola cuando el usuario presiona el botón inicio del sistema de consola para comenzar la experiencia seleccionada, logrando con esto, alargar la vida útil de cada uno de los láseres y la manera de llevar este requerimiento a cabo, es mediante la implementación de un relé, como se expone en la figura (5.6).

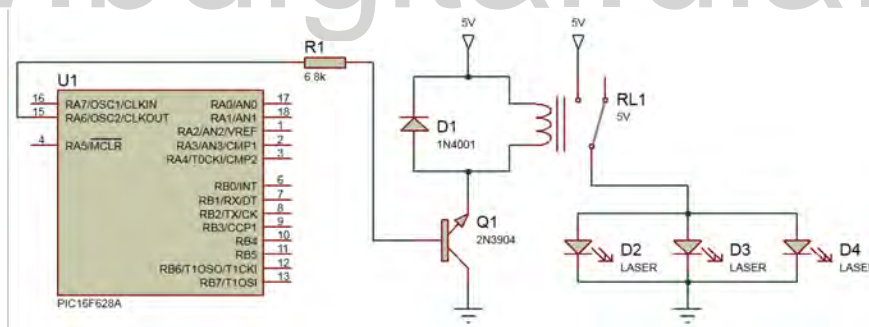


Figura 5.6: Esquema de conexión del sistema fuente de luz

El uso del relé en nuestro diseño es debido a que los pines de cualquier microcontrolador están limitados en la corriente que pueden proveer a una carga externa que en la mayoría de los casos, la corriente que se puede obtener de un pin esta limitada a unos 10 a 30 mA. Corrientes superiores pueden dañar la estructura interna del PIN. Para controlar cargas mayores se requiere utilizar transistores y/o relés. En el caso de los relés, también nos ayudan a proveer aislamiento eléctrico entre el sistema de control y el sistema de fuente de luz.

Como un pin del microcontrolador normalmente no alcanzará a manejar correctamente la bobina de un relé, requerimos una etapa intermediaria basada en un transistor BJT



o Mosfet que a su vez activará la bobina. El transistor BJT es un dispositivo controlado por corriente, es decir, requiere una corriente de base para comenzar a conducir. Dicha corriente es muy pequeña a comparación de la corriente que controla en sus otras dos terminales. Para conectarlo a nuestro microcontrolador hace falta una resistencia que limite la corriente de base y sin embargo, proporcione la corriente justa para llevar el transistor a un estado de “saturación”. Para nuestro caso en concreto, como estamos conectando una carga inductiva, también debemos colocar un diodo que protege al transistor de los picos de voltaje generados por la bobina del relé y disipar de manera segura la energía acumulada en la bobina.

Una vez descrito el funcionamiento es necesario realizar los cálculos para la elección correcta de los componentes, en nuestro caso, se implemento un relé RH-005C de la compañía Tech con bobina de 5V:

- Es claro que el relé debe tener capacidad en sus contactos para manejar la carga a controlar, nos interesa la corriente máxima que demandará la bobina para activar los contactos. Como no disponíamos de la hoja de datos del relé, medimos su resistencia en DC con un multímetro para obtener la corriente usando la ley de ohm:  $I = V/R$ . En nuestro caso la resistencia es de 60 Ohm. Entonces la corriente es  $I = 5V/60\text{ Ohm} = 0,083\text{ A}$ .
- Conociendo la corriente debemos elegir un transistor. Opciones válidas para relés pequeños son los clásicos BC547 o 2N2222. Ambos deberían funcionar correctamente para 83 mA. En nuestro caso implementamos el transistor BJT 2N3904.
- Otro parámetro importante para elegir el transistor es el voltaje de la bobina del relé. Podemos utilizar relé con voltajes de alimentación mayores que el de la fuente de alimentación del microcontrolador, siempre que el transistor de conmutación lo permita. El  $V_{ce}$  (voltaje colector-emisor) del transistor elegido debe superar el voltaje de alimentación de la bobina del relé, que según la hoja de datos del transistor 2N3904 es de 40 V, superando ampliamente el voltaje requerido.
- Para calcular R1 se debe tomar en cuenta la ganancia del transistor. Calcularemos un valor que permita llevar el componente a saturación. Sabemos que la corriente máxima que puede fluir por el transistor es de 83 mA y de las características de un transistor bipolar se sabe que  $H_{fe} = I_c/I_b$  ( $H_{fe}$  es la ganancia en corriente o beta del transistor).
- Calculamos la corriente mínima que requerimos en la base del transistor:  $I_b = I_c/H_{fe} = 0,083/120 = 0,6\text{ mA}$ .
- Como podemos ver del paso anterior hace falta una corriente muy pequeña para activar el relé utilizando el transistor. Ahora calculamos una resistencia que limite la corriente de base, pero que asegure que al menos se entreguen 0,6 mA. De la ley de ohm  $R = V/I = 5/0,0006 = 8333\text{ Ohm}$ . Debemos entonces usar una resistencia

menor a  $8,3 K\Omega$ . En nuestro caso se implemento una resistencia de  $6,8 K\Omega$  que existe en el mercado

En lo que se refiere a firmware, el sistema de fuente de luz será controlado mediante el pin RELE (RA6) en la declaración de variables de la función principal descrito en la figura (B.6) del Apéndice B, donde cambiando el estado lógico (1 ó 0) de dicho pin encenderá o apagará la fuente de luz. Respecto al hardware se implemento en la PLACA PRINCIPAL expuesto en la figura (5.11(a)).

#### 5.1.4. Sistema de audio

El sistema de audio es el encargado de reproducir las pistas de audio correspondiente a cada experiencia, que de igual manera que en el sistema de la fuente de luz, este sistema también debía cargarse de manera automática, para ello fue necesaria la búsqueda de dispositivos electrónicos capaces de ser controlados por un microcontrolador. Entre los dispositivos hallados se encontró el circuito integrado SOMO-14D producido por 4D Systems, presentado en la sección (2.3.2) donde se describe algunas de sus características y tipo de funcionamiento.

En cuanto al funcionamiento, en nuestro caso el dispositivo de audio SOMO-14D fue implementado en modo serie, en la figura (5.7) se expone el esquema de conexiones.

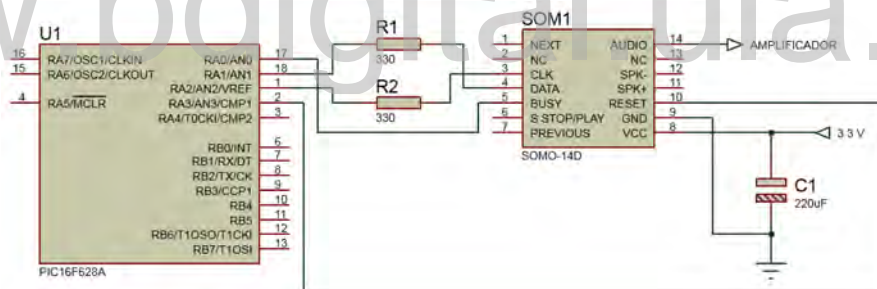


Figura 5.7: Esquema de conexión del sistema de audio

En el modo serie el microcontrolador será el encargado de gestionar el funcionamiento del SOMO-14D, empleando para ello dos únicas señales: CLK para sincronizar cada bit y DATA que es por donde se transfieren las palabras de 16 bits que determinan el comando a ejecutar por el SOMO. Con estos comandos se controla la reproducción de los archivos de audio que estarán almacenados en la tarjeta  $\mu$ SD.

**CLK, señal de reloj (PIN 3):** Cada bit de datos que se envía al módulo es recogido por el flanco ascendente de esta señal, como se logra observar en la figura (5.8). Su estado inactivo es nivel "1", cuando se inicia una comunicación entre el microcontrolador y el SOMO, la señal debe mantenerse a "0". Al menos durante  $2 ms$ , considerándose como un bit de inicio. A continuación el microcontrolador empieza a mandar los 16 bits de datos. Se empieza por el bit de mas peso y todos ellos se recogen con cada flanco ascendente

de la señal CLK.

Una vez transferidos los 16 bits la señal CLK debe mantenerse al menos durante  $2\text{ ms}$  a nivel "1." antes de que se vuelva a transmitir el siguiente comando de 16 bits, considerándose como bit stop. Los tiempos en que la señal CLK se mantiene a "1." a "0" durante la transferencia debe ser de al menos de  $100\text{ }\mu\text{s}$ , como resultado de esto la transferencia máxima es de  $5\text{ KHz}$ .

**DATA, señal de datos (PIN 4):** a través de esta señal el microcontrolador envía al modulo SOMO los comandos a ejecutar. Estos comandos están formados siempre por 16 bits, cada bit se transmite con cada flanco ascendente de la señal CLK y se empieza siempre con el bit de mas peso.

Es de hacer notar que en los sistemas alimentados con  $5\text{ V}$  como en nuestro caso, es necesario intercalar dos resistencia de  $330\text{ Ohm}$  entre las señales CLK, DATA y el microcontrolador, con la finalidad de limitar la corriente a los pines del SOMO.

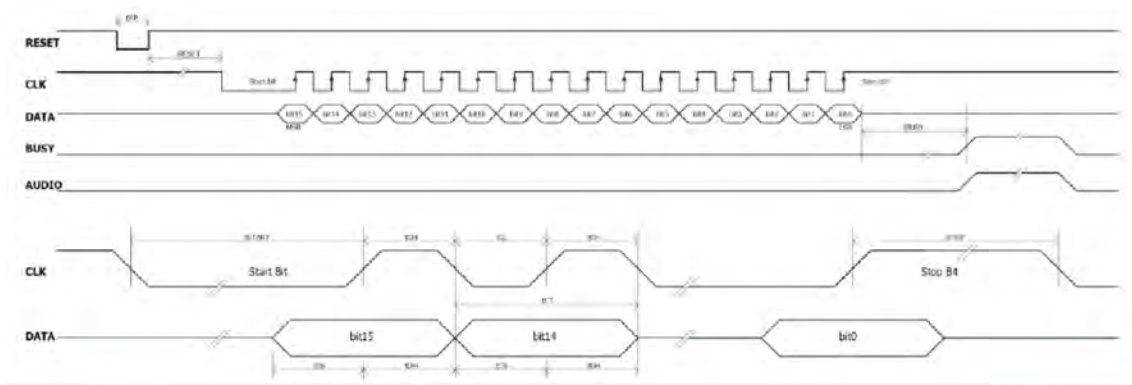
**Audio (Pin 14):** Este pin nos proporciona una salida procedente de un circuito DAC/PWM de 16 bits internos, es pensada para conectar un amplificador de baja frecuencia. En nuestro caso se implemento un sistema de audio de computadora CAMAC CMK-868 de  $400\text{ W}$  de salida.

Entre los comandos utilizados para el envío de datos se encuentra:

Comando	Función	Descripción
0x0000 - 0x01FF	Archivo de audio	Selecciona y reproduce uno de los archivos de audio almacenados en la tarjeta $\mu\text{SD}$
0xFFFFE	Play - Pause	Cada vez que el microcontrolador envía este comando la reproduccion se reanuda o se detiene
0xFFFF	Stop	Detiene la reproducción del audio en curso y coloca al SOMO en modo stanby de bajo consumo

Cuadro 5.1: Comandos del SOMO-14D

En relación al firmware, el sistema de audio será controlado mediante los pines CLK (RA2) y DATA (RA1) en la declaración de variables del CODIGO GENERAL mediante la función enviar\_dato descrito en la figura (B.3) del Apéndice B. Respecto al hardware se implemento en la PLACA PRINCIPAL expuesto en la figura (5.11(a)).



Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Reset Pulse Width	t <sub>RP</sub>	5	-	-	ms
Reset Idle to Start Bit	t <sub>RESET</sub>	300	-	-	ms
Start Bit Low level pulse width	t <sub>START</sub>	2	-	-	ms
Stop Bit High level pulse width	t <sub>STOP</sub>	2	-	-	ms
Clock High level pulse width	t <sub>CH</sub>	100	-	-	μs
Clock Low level pulse width	t <sub>CL</sub>	100	-	-	μs
Clock Cycle Total Period	t <sub>CT</sub>	200	-	-	μs
Write Data Setup	t <sub>DS</sub>	1	-	-	μs
Write Data Hold	t <sub>DH</sub>	50	-	-	μs
Busy Active High from last data bit latch	t <sub>BUSY</sub>	20	-	-	ms

Figura 5.8: Forma de onda de las señales DATA y CLK

### 5.1.5. Consola

El sistema de consola tiene la finalidad de proporcionar al usuario cierto grado de libertad sobre el funcionamiento de sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica, en el se implementó un pulsador INICIO que le dará la oportunidad de dar inicio a la pista de audio correspondiente a la experiencia que haya seleccionado, dicho control se realiza mediante una resistencia PULL-UP como se describe en la figura (5.9). En la configuración PULL-UP, cuando el circuito está en reposo, es decir el pulsador INICIO sin pulsar, la caída de tensión es de 5V (1 lógico), en cambio cuando pulsamos INICIO se deriva toda la corriente a masa y la caída de tensión es 0V (0 lógico) y es en este punto donde el microcontrolador ejecutara el programa principal.

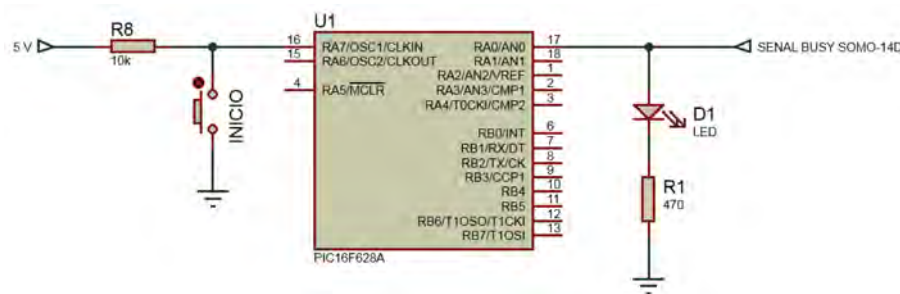


Figura 5.9: Esquema de conexión del sistema consola

Ademas, es de hacer notar que en el sistema de consola se implemento también, un LED indicador que se esta reproduciendo la pista de audio, para ello se aprovecho la señal que proviene del SOMO-14D.

### 5.1.6. Sistema de control

El sistema de control es el encargado de realizar y controlar todas las instrucciones del sistema embebido, para ello se implemento el microcontrolador PIC16F628A, ver figura (5.10).

Los microcontroladores PIC (Peripheral interface Controller) son fabricados por la empresa MICROCHIP Technology INC., cuya central se encuentra en Chandler, Arizona, esta empresa domina el primer lugar en ventas de microcontroladores de 8 bits desde el año 2002. Su éxito se debe a la variedad de microcontroladores PIC hay más de 180 modelos, gran versatilidad, excelente velocidad, bajo costo, poco consumo de potencia, y gran disponibilidad de herramientas (software) para su programación, ademas de abundante información en la Internet.

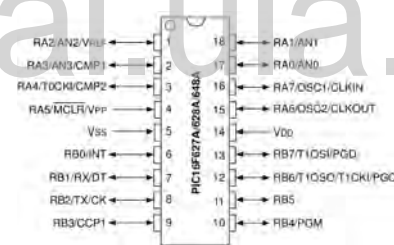


Figura 5.10: Diagrama de pines del PIC16F628A

Entre sus principales características se encuentra:

- Velocidad de operación hasta 20 Mhz con un oscilador externo.
- Oscilador interno RC (resistencia condensador) de 4 Mhz calibrado de fábrica.
- Admite 8 configuraciones de osciladores.
- Procesador de arquitectura HARVARD.
- Instrucciones de un ciclo excepto los saltos (200 nS por instrucción a 20Mhz).
- Pin RA5 MCLR programable como Reset externo.
- Tiene 15 pines de I/O y 1 sólo de entrada (RA5).
- Rango de operación desde 3 V hasta 5,5 V.

- Ahorro de energía en el *modo suspensión*
- Modulo comparador analógico.
- Resistencias *PULL-UP* programables.
- Modulo PWM incorporado.
- 3 temporizadores y contadores independientes.
- Modulo USART.
- 40 años de retención de datos.

Para mayor información consultar el datasheet en la pagina oficial de Microchip<sup>1</sup>. Como se dijo anteriormente sistema de control estará basado en el PIC16F628A, este microcontrolador sera el cerebro del sistema de control, pues estará encargado de recibir las instrucciones del usuario para luego transformarlas en una acción, por tanto es necesario definir las tareas que el microcontrolador debe cumplir, las cuales se muestran a continuación:

1. Monitorear el pulsador INICIO, ya que al ser presionado debe comenzar la experiencia seleccionada.
2. Encender la fuente de luz.
3. Monitorear el teclado, con la intención de especificar que experiencia fue seleccionada.
4. Enviar el dato al sistema de audio correspondiente a la experiencia seleccionada para su reproducción.
5. Verificar continuamente el estado del pulsador INICIO, para pausar o parar la reproducción del audio. Es decir, mientras se reproduce el audio si el usuario presiona el pulsador inicio, el microcontrolador enviará el dato PLAY\_PAUSE y la reproducción se pausará, en cambio, Si el pulsador permanece presionado mas de 2 *seg* el microcontrolador enviará el dato STOP y la reproducción del audio finalizara.
6. Cuando se inicie la reproducción del audio deberá encender el LED indicador de que se encuentra en estado ocupado.
7. Una vez finalice la reproducción del audio, el microcontrolador deberá apagar la fuente de luz.
8. Entrar de nuevo en el paso 1

Una vez descrito los pasos que debe realizar el microcontrolador PIC se procede a realizar el diagrama de flujo, ver figura (B.4) en el Apéndice B, en el se expone de manera general la representación gráfica del algoritmo correspondiente a los pasos antes descritos. Cuando ya se tiene el diagrama de flujo, se procede a realizar el función principal que se quemará en el PIC, el cual se expone en la figura (B.6) del Apéndice B, para ello se uso el compilador MikroC PRO for PIC de la compañía Mikroelektronika. Luego de compilar el código de programación se obtiene el código (.hex). Para quemar dicho codigo en el PIC16F628A se hizo uso de la tarjeta entrenadora EasyPic V7 la cual se exhibe en la figura (5.11).

---

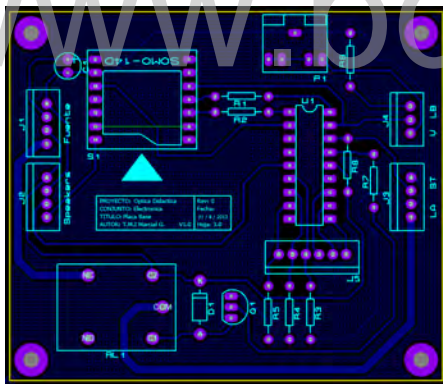
<sup>1</sup><http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F628A>



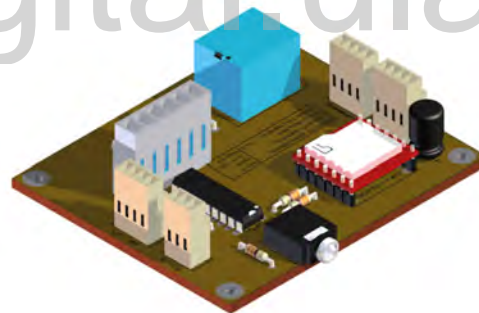


Figura 5.11: Tarjeta de desarrollo EasyPic V7

En relación al desarrollo del hardware o la fabricación del circuito impreso PCB, este se realizó en Ares PROTEUS teniendo en cuenta el diagrama de las conexiones del sistema embebido expuesto en la figura (B.5) de Apéndice B. Una vez se tiene este circuito en momento de pasar a ARES para la realización de cada una de las conexiones correspondientes, es de tener en cuenta, que por recomendación de fabricante 4Dsystems el modulo SOMO-14D y el microcontrolador PIC16F628A se deben colocar lo más cerca posible, a fin de evitar distorsiones en la señal enviar\_datos, en la figura (5.11(a)) se expone el diagrama esquemático del teclado (Capas Top Silk y Bottom Copper) y en la figura (5.11(b)) se exhibe la placa ya ensamblada en diseño CAD.



(a): Diagrama esquemático



(b): Vista isometrica CAD

Figura 5.12: PCB del sistema de control

## 5.2. Diseño instruccional

En la presente sección se expone una breve descripción del modelo de diseño instruccional *ADDIE*, su metodología y la aplicación del modelo a las pistas de audio que serán complemento en el sistema interactivo para la enseñanza de óptica geométrica.

El Modelo ADDIE es uno de los modelos comúnmente utilizado en el diseño instruccional, su nombre obedece al acrónimo *analyze* (análisis), *design* (diseño), *develop*





Figura 5.13: Modelo de diseño instruccional ADDIE.

(desarrollo), *implement* (implementación) y *evaluate* (evaluación); que representan sus fases, considerado para algunos como un modelo genérico, dado que las fases constituyen los pasos indispensables en todo proceso de diseño instruccional. El modelo ADDIE adopta el paradigma del procesamiento de la información y la teoría de sistema del conocimiento humano. En este proceso interactivo cada producto, entrega una idea de cada fase que se prueba o valora antes de convertirse en entrada para la siguiente fase, lo que le confiere un carácter sensible y altamente proactivo, con lo que la evaluación inicial, procesual y final, impregna todo el modelo.

La simplicidad del modelo y la flexibilidad para la inclusión de diversos factores, es lo que le confiere eficacia, dado que las etapas pueden sucederse de forma simultánea o bien de manera ascendente. Además, este modelo representa un punto de construcción para otros modelos de diseño instruccional, porque “es un marco de trabajo general”.

En la figura (5.13), se muestra el esquema que representa los elementos y las interacciones que se promueven dentro del modelo expuesto. El modelo se propone como alternativa para organizar las actividades que guíen hacia el aprendizaje autónomo del estudiante en el sistema interactivo de óptica geométrica, tal como se describe en las cinco fases que componen al modelo:

**Análisis:** La fase de análisis es la base para el resto de las fases de diseño instruccional. Durante esta fase se debe definir el problema, identificar el origen del problema y determinar las posibles soluciones. Los resultados de esta fase a menudo incluyen las metas educativas y una lista de tareas a realizar. Estos resultados (salidas) serán las entradas para la fase de diseño.

**Diseño:** La fase de diseño implica la utilización de los resultados de la fase de Análisis para planear una estrategia para el desarrollo de la instrucción. Durante esta fase, se debe delinear cómo alcanzar las metas educativas determinadas durante la fase de Análisis y ampliar los fundamentos educativos.

Algunos de los elementos de la fase de Diseño pueden incluir escribir los objetivos y temas a evaluar, selección del sistema de entrega y ordenar la instrucción. Los resultados

(salidas) de la fase de Diseño serán las entradas de la fase de Desarrollo.

**Desarrollo:** La fase de desarrollo se estructura sobre las bases de las fases de Análisis y Diseño. El propósito de esta fase es generar los planes de las lecciones y los materiales de las mismas. Durante esta fase se desarrollará la instrucción, todos los medios que serán usados en la instrucción y cualquier documento de apoyo. Esto puede incluir hardware (por ejemplo, equipo de simulación, audio) y software (por ejemplo, instrucción basada en la computadora).

**Implementación:** La fase de implementación se refiere a la entrega real de la instrucción, ya sea basado en el salón de clases, basado en laboratorios o basado en computadora. El propósito de esta fase es la entrega eficaz y eficiente de la instrucción. Esta fase debe promover la comprensión del material por parte de los estudiantes, apoyar el dominio de objetivos por parte de los estudiantes y asegurar la transferencia del conocimiento de los estudiantes del contexto educativo al trabajo.

**Evaluación:** Esta fase mide la eficacia y eficiencia de la instrucción. La evaluación debe estar presente durante todo proceso de diseño instruccional – dentro de las fases, entre las fases, y después de la implementación. La evaluación puede ser formativa o sumativa.

Evaluación formativa se realiza durante y entre las fases. El propósito de este tipo de evaluación es mejorar la instrucción antes de implementar la versión final.

Evaluación sumativa usualmente ocurre después de que la versión final es implementada. Este tipo de evaluación determina la eficacia total de la instrucción. La información de la evaluación sumativa es a menudo usada para tomar decisiones acerca de la instrucción (tales como comprar un paquete educativo o continuar con la instrucción).

### 5.2.1. Aplicación de la metodología ADDIE

El objetivo de la aplicación del diseño instruccional ADDIE en el sistema interactivo para la enseñanza de la óptica geométrica es facilitar la construcción del conocimiento mediante la inmersión del usuario, en la situación de aprendizaje problemática, teniendo como finalidad que el usuario aprenda descubriendo. Es decir, proporcionar al usuario la oportunidad de involucrarse de manera activa y construir su propio aprendizaje a través de la acción directa, impulsando el desarrollo de habilidades que posibiliten el aprender a aprender, haciendo que los usuarios se percaten de la estructura del contenido que se va a exponer y de la relaciones con sus elementos, facilitando con ello la retención del conocimiento.

En relación a la implementación de la metodología ADDIE, en primer lugar tenemos la fase de *análisis* que como se dijo anteriormente consiste en la identificación de la problemática, en correspondencia a este punto se tiene que la problemática a analizar es sobre el aprendizaje de la óptica geométrica y sus aplicaciones en la vida cotidiana. Otro punto que tratar en la fase de *análisis* es sobre el perfil del usuario, en este caso el perfil

del usuario es variado, puesto que el sistema interactivo al ser diseñado y construido con la finalidad de ser expuesto en museos de ciencias, será usado por distintas personas y variadas exigencias, por tal motivo la implementación de las instrucciones deben ser lo más simple posible, de manera que se facilite el aprendizaje y la manipulación del sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica.

Una vez descrito la fase del *análisis*, iniciamos la segunda fase de modelo instruccional ADDIE la cual corresponde a la fase de *diseño*, que es la fase donde se desarrolla el programa atendiendo a principios didácticos e interactivos, que sentarán las bases de la instrucción. Teniendo en cuenta que las experiencias didácticas e interactivas de calidad expuestas en museos se caracterizan por:

- Dar oportunidad al usuario de que haga conexiones entre la experiencia que obtiene al manipular el sistema interactivo y las de su propia vida.
- Presentar los temas complejos en etapas progresivas, de manera que el usuario pueda comprender la información que se le suministra.
- Tener como meta importante el reforzar conocimientos previos y ocasionalmente ayudar a construir actitudes y conductas.
- Hacer las experiencias de aprendizaje gratas y entretenidas, teniendo claro que la diversión y el aprendizaje no son excluyentes, sino que la presencia de ambas son esenciales para lograr experiencias de calidad.
- Proporcionar retos y recompensas a las habilidades y conocimiento que el usuario haya adquirido.

En este sentido y partiendo de las características antes mencionadas diseñamos los siguientes objetivos, orientados a que los usuarios puedan:

1. Comprender la Ley de refracción (Snell) y la Ley de reflexión.
2. Conocer las aplicaciones de leyes de reflexión y refracción.
3. Entender el fenómeno de reflexión interna total y sus aplicaciones.
4. Adquirir el conocimiento necesario para la manipulación del sistema interactivo de enseñanza de óptica geométrica.

Con lo anterior; se pretende desarrollar en los usuarios lo siguiente:

- Competencias instrumentales: basadas en el manejo o manipulación de nuevas tecnologías y plataformas interactivas aplicadas en los museos.

- Competencias informacionales: desarrollar capacidades para distinguir la información dada, verificarla para que luego puedan exponerlas bajo su propio criterio.
- Competencias sistémicas: fundamentadas en la capacidad del usuario para administrar su propio conocimiento, incluyendo distinguir la información mas relevante y de importancia para su investigación, así como aplicarla a su propia base de conocimiento.

En relación a la temática del diseño instruccional, se incluyen los siguientes temas:

- Demostración de la Ley de reflexión y tipos de reflexión.
- Estudio de la reflexión en espejos curvos (Cóncavos y Convexos)
- Demostración de la Ley de refracción o Ley de Snell.
- Estudio de la refracción en lentes (Biconcava y Biconvexa).
- Demostración de la reflexión interna total.
- Estudio de la reflexión interna total en un prisma.

La descripción temática del curso obedece fundamentalmente a la necesidad de que los usuarios conozcan la diversidad de la óptica geométrica, sus aplicaciones y se hace un especial énfasis en la inmersión del usuario en cada una de las experiencias, por medio de teorías dentro del marco constructivista o conectivista, que apoyen el aprendizaje reflexivo, colaborativo y centrado en el usuario.

Para el *desarrollo* de las instrucciones contemplado en la fase tres del modelo ADDIE y teniendo en consideración: lo descrito en la fase de *diseño* y el movimiento de los subsistemas que componen el sistema interactivo, fueron de gran valía para poder realizar los recursos de aprendizaje, el cual en nuestro caso el medio seleccionado para la divulgación de la instrucción es mediante pistas de audio (una por cada experiencia implementada), que guiaran al usuario a través de la experiencia seleccionada y demuestre cada una de ellas, creando con esto un entorno interactivo entre el usuario y maquina, brindando la posibilidad de decidir y dirigir en todo momento su proceso de aprendizaje. Por tanto el contenido de cada pista de audio debían poseer los siguiente aspectos:

- Área introductoria: se refiere a la exposición, descripción breve del elemento óptico o ley seleccionada, además de presentar los objetivos de la experiencia.
- Área de contenidos: se refiere a la demostración de la ley seleccionada o su aplicación, mediante la manipulación del subsistema fuente de luz a través de instrucciones cortas y sencillas.



Figura 5.14: Espacio de trabajo de *Adobe audition*

- Área de evaluación: alude a la realización de preguntas sencillas durante el recorrido de la experiencia, con la intención de verificar la información suministrada.

El desarrollo de cada una de las pistas de audio se realizó mediante el software **Adobe Audition** el cual es una aplicación en forma de estudio de sonido destinado a la edición de audio digital de *Adobe Systems Incorporated* que permite tanto un entorno de edición y mezclado de ondas múltiples. En el Apéndice B se expone el contenido de cada una de las pistas de audio. Es importante aclarar en este punto que debido a que el usuario se topará con un elemento totalmente nuevo, fue necesario la realización de una pista de audio que describa el sistema interactivo y su funcionamiento.

Una vez grabada cada una de las pistas de audio es momento de pasar a la cuarta fase del modelo ADDIE, la cual corresponde a la fase de *implementacion*. Para la implementación de las pistas de audio en el SOMO-14D se empleo el software *Somo Audio Converter*, que es una herramienta gratuita facilitada por el fabricante del SOMO-14D para convertir archivos de audio con formato .mp3 o .wav al formato .ad4 que admite el modulo SOMO-14D. A continuación se resumen los pasos para generar los archivos .ad4 que posteriormente puedan gestionarse en el SOMO-14D mediante el sistema de control del diseño electrónico.

1. Generar u obtener las pistas de audio en formato .mp3 o .wav originales: son los archivos que se reproducen en la mayoría de los reproductores de sonidos como: ipod, movile, etc. En nuestro caso para la grabación de las pitas de audio recurrimos al software *Adobe Audition*, en la figura (5.14) se muestra el espacio de trabajo del software.
2. Convertirlos a formato .ad4: Es el momento de ejecutar la aplicacion *SOMO Audio Converted* que se supone debidamente instalada en la PC. El área de trabajo tiene el aspecto que se muestra en la figura (5.15). A la izquierda seleccionamos la carpeta que contiene los archivos originales y el tipo de archivos (.mp3 o .wav). En nuestro caso aparecen nueve archivos (.mp3) con el nombre de cada una de la

experiencias. Hay que elegir una velocidad de muestreo que coincida con el archivo original (32000). Ahora basta seleccionar todos esos archivos y presionar *encode*. El cual convertirá los mismos archivos en la misma carpeta pero en formato .ad4.

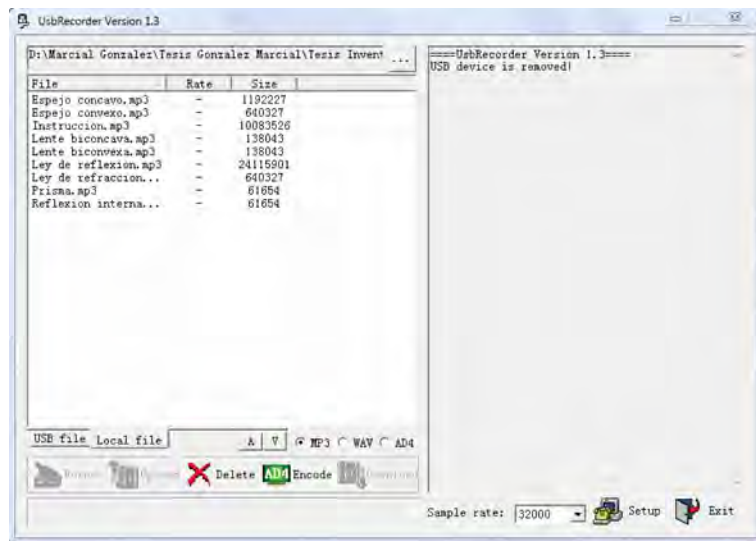


Figura 5.15: Espacio de trabajo del *Audio como converted*

- Grabación sobre la tarjeta  $\mu$ SD: para la realización de este paso solo basta con copiar todos los archivos con extensión (.ad4) en la tarjeta  $\mu$ SD. Es importante recalcar que cada una de las pistas se deben renombrar para que el SOMO-14D las pueda leer, en este caso la pista instrucción.ad4"sera "0000.ad4", la pista "Ley de reflexión.ad4"sera "0001.ad4z así sucesivamente.

Finalmente, el Modelo ADDIE contempla la fase de *evaluación* misma que permite valorar el proyecto en su conjunto, para después realizar la exposición del sistema interactivo al publico en general. En esta fase realizaremos las siguientes actividades:

- Verificación de que las pistas de audio cumpla con los objetivos.
- Verificación del correcto funcionamiento del sistema interactivo.
- Evaluación continua.

Pese a que no hemos llegado masivamente al público en general en esta fase, el sistema interactivo se puso a prueba en un grupo piloto de estudiantes de la Universidad de Los Andes y profesores de dicha institución, mostrando gran aceptación del sistema interactivo para la enseñanza de la óptica geométrica.



# *CONCLUSIONES*

El prototipo desarrollado durante este proyecto tiene como finalidad hacer un aporte tecnológico al aprendizaje de la física como ciencia básica, presentándose como un recurso didáctico e interactivo que puede ser usado tanto en las estructuras formales, como las informales de la educación, teniendo en cuenta las dificultades y la falta de recursos que se presentan en nuestro medio para tener acceso a esa parte que es tan importante para el afianzamiento de los conceptos, ya que debido a los logros obtenidos en el diseño y construcción de este prototipo se incentiva a los universitarios a entrar en el campo de desarrollo de prototipos, lo cual les abre muchas puertas en su futuro, ya que logran adquirir conocimientos sobre gestión y desarrollo de proyectos.

Es importante destacar que para la realización del prototipo fue necesario tener conocimientos básicos en los procesos de diseño de productos y su fabricación, específicamente en los procesos de mecanizado y el uso de las máquinas-herramientas tales como tornos y fresadoras a fin de acelerar el proceso de diseño de los prototipos en modelos CAD, otro punto importante a destacar es la necesidad o el reforzamiento de los conocimientos adquiridos en la universidad sobre la construcción de sistemas embebidos, que prácticamente son nulos en la carrera de física, siendo éste un gran obstáculo presentado en el desarrollo del prototipo y que se logró superar gracias al personal especializado de CITEC.

El desarrollo de los objetivos de este trabajo se logró en gran medida gracias a la utilización de distintos softwares de diseño CAD prestando grandes ventajas y siendo quizás la más importante, que el diseño desde cero comienza a verse como sería en la realidad y teniendo las vistas de todos los ángulos que parecería que podemos tocar el desarrollo que se está dibujando, dando la capacidad de realizar ensamblajes, simulaciones y la creación de planos, con ello se logró la realización de cuatro prototipos del sistema interactivo, permitiendo analizar cada una de sus partes y funcionamiento para la posterior selección del prototipo a construir, sin la necesidad de invertir grandes sumas de dinero, como lo haría si se tuviera que construir cada uno de los prototipos, de igual manera fue posible el desarrollo y simulación en tiempo real del sistema embebido mediante la suite de Proteus, logrando desarrollar el diseño de las placas PCB y el código de programación para el PIC-16F28A.

Otro de los objetivos cumplidos en el desarrollo del prototipo, es referente al diseño instruccional, implementando para ello el sistema de audio y la grabación del contenido



de las pistas de audio bajo la metodología del diseño instruccional ADDIE, permitiendo al usuario tener un dialogo prescrito con el prototipo, logrando con ello que el usuario sea capaz de construir su propio conocimiento y aprendizaje a través de cada una de la experiencias expuestas en el sistema interactivo.

De esta manera se demuestra que es posible diseñar y construir equipos o sistemas innovadores para la enseñanza de la física a partir de los recursos tecnológicos que tiene el país, respondiendo con esto a la pregunta de investigación de este trabajo, además se demuestra que los conocimientos adquiridos en la universidad fueron de gran valía para el desarrollo del mismo, permitiendo de este modo estar en la capacidad de competir con empresas extranjeras, donde por los altos costos de los equipos muchos colegios y/o museos no pueden acceder a ellos.

## Recomendaciones

En este trabajo se obtuvo un aporte importante para mejorar la divulgación de la física en la estructuras formales e informales de la educación, mediante el desarrollo de un sistema interactivo para la enseñanza de la óptica geométrica, pero existen algunas recomendaciones que se pueden realizar en el sistema interactivo a fin de mejorar su funcionamiento, además de que pueden guiar futuras investigaciones y obtener interesantes conclusiones, entre la cuales podrían considerarse, por ejemplo:

- Implementación de una fuente de luz incandescente, a fin de demostrar la dispersión de la luz al atravesar un prisma.
- Modificar la fuente de luz de manera que se logre divulgar la formación de imágenes tanto en los espejos como en las lentes.
- Dependiendo de la escala donde se vaya a exponer el sistema interactivo, es recomendable realizar cada una de las experiencias en módulos separados.
- Estudiar la aplicación de la metodología empleada en otros tópicos de la física tales como: lanzamiento de proyectiles, mecánica ondulatoria, etc. Para así crear nuevas líneas de investigación.

## Bibliografía

- Bedoya, G. (1997). Alejandro. ¿qué es interactividad? *Revista electrónica Sin Papel*.
- Bohórquez, L. B., Martínez, S. M., and Becerra, H. A. G. (2012). Diseño y construcción de un prototipo autónomo para la práctica experimental de laboratorios de física. *Scientia Et Technica*, 1(52):155–164.
- Bustamante, P. (2011). La interactividad como herramienta repotencializadora de los museos. caso: Museo argentino de ciencias naturales. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (38):62–64.
- Carter, M. and Donovan, M. (2007). Levels of interactivity and determining what's appropriate. *The ELearning Guild's Online Forums*, 201.
- Departament of Defense, U. (1999). *Development of interactive multimedia and nonmultimedia instruction*.
- García, F. N. J., Narváez, C. M., Calle, J. d. J. A., Montagut, L. B., Leyton, H., and Muñiz, J. L. (2016). Una experiencia didáctica en el diseño e implementación de objetos de aprendizaje para la enseñanza de la física. *Revista Educación en Ingeniería*, 11(22):13–20.
- González, G. M. (2017). Problemas de la didáctica de las ciencias experimentales en la actualidad, caso venezuela. *REVISTAS DE INVESTIGACIÓN*, (50).
- Guisasola, J., Azcona, R., Etxaniz, M., Mujika, E., and Morentin, M. (2005). *Diseño de estrategias centradas en el aprendizaje para las visitas escolares a los museos de Ciencias*. Universidad de Cádiz/Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka.
- ICOM (2007). *Consejo Internacional de Museos*.
- Jiménez, Javier Arias y Olaizola Arizmendi, I. (2010). *El proceso de diseño de exposiciones interactivas en los museos*.
- Liu, Y. and Shrum, L. (2002). What is interactivity and is it always such a good thing? implications of definition, person, and situation for the influence of interactivity on advertising effectiveness. *Journal of advertising*, 31(4):53–64.

- López, R. M., Naya, V. B., and Ibáñez, L. A. H. (2013). Diseño de un sistema interactivo orientado al usuario del museo. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, 19:879–885.
- Matos, R. G. (2004). *Diseño instruccional para la enseñanza de la geometría a través de un micromundo geométrico*.
- Morentin Pascual, M. (2012). *Los museos interactivos de ciencias como recurso didáctico en la formación inicial del profesorado de Educación Primaria*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.
- Palacios Municio, E., Remiro Domínguez, F., and López Pérez, L. J. (2009). *Microcontrolador PIC16F84: desarrollo de proyectos/*. México, DF.: Alfaomega;.
- Pastor María, M. (2004). *Pedagogía Museística: Nuevas perspectivas y tendencias actuales. 1ª*. Edición. Editorial Ariel, SA Barcelona.
- Peters, D. (2013). *Interface design for learning: Design strategies for learning experiences*. Pearson Education.
- Rodríguez, N. (2007). Prácticas docentes y mejora de la escuela. *Educere*, 11(39):699–708.
- Sánchez-Mora, C. and Tagüena, J. (2003). Exhibir y diseñar, ¿para quién? la visión del público en los museos deficiencias. *Elementos: ciencia y cultura*, 10(52):29–35.
- Sigua Salinas, J. M. (2014). *Diseño e implementación de equipo didáctico, interactivo, auditivo y visual, para el reconocimiento y aprendizaje del aparato reproductor masculino y femenino para niños de la fundación IPCA*.
- Ten Ros, A. (2001). *LOS MUSEOS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS. Un ensayo de clasificación por generaciones*. <http://www.uv.es/ten/p64.html>, [Accessed: Whenever].
- Wagensberg, J. (1998). *Ideas para la imaginación impura: 53 reflexiones en su propia sustancia*. Tusquets editores.
- Weber, T. (2010). *El aprendizaje en los centros escolares y en los museos: ¿qué métodos favorecen más el aprendizaje activo?*

# A APÉNDICE

## PLANO DE CONJUNTO Y VISTAS ESTALLADAS

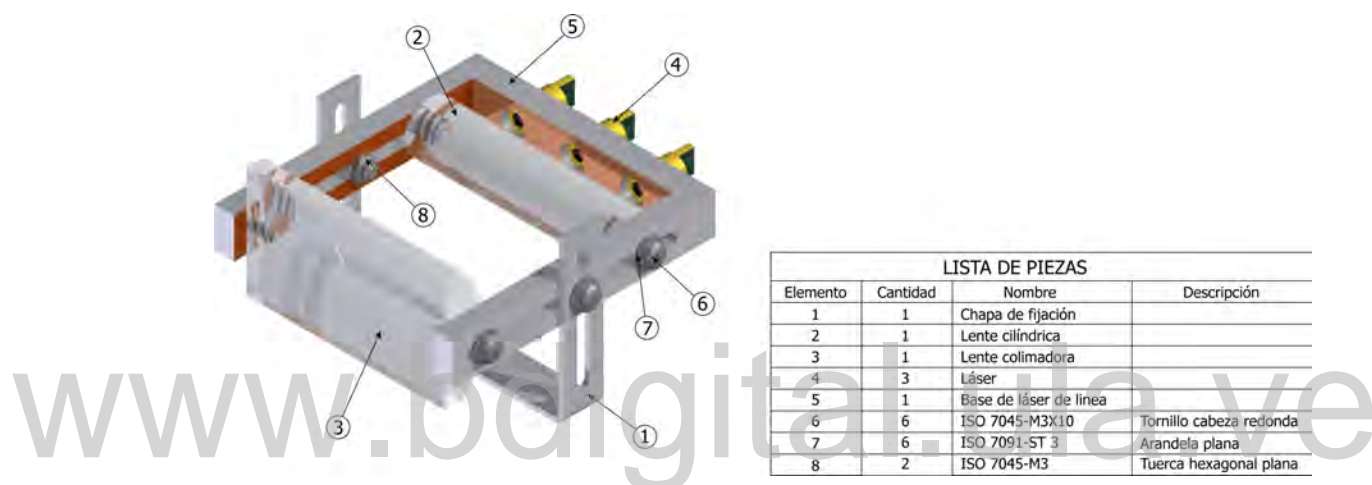


Figura A.1: Plano de conjunto de la fuente de luz

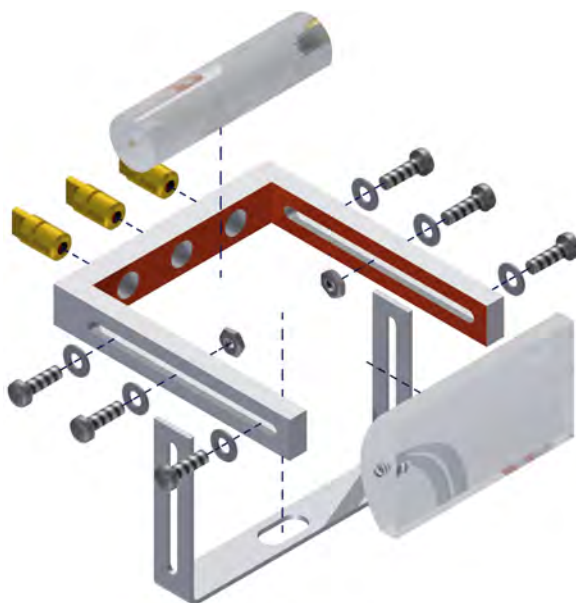
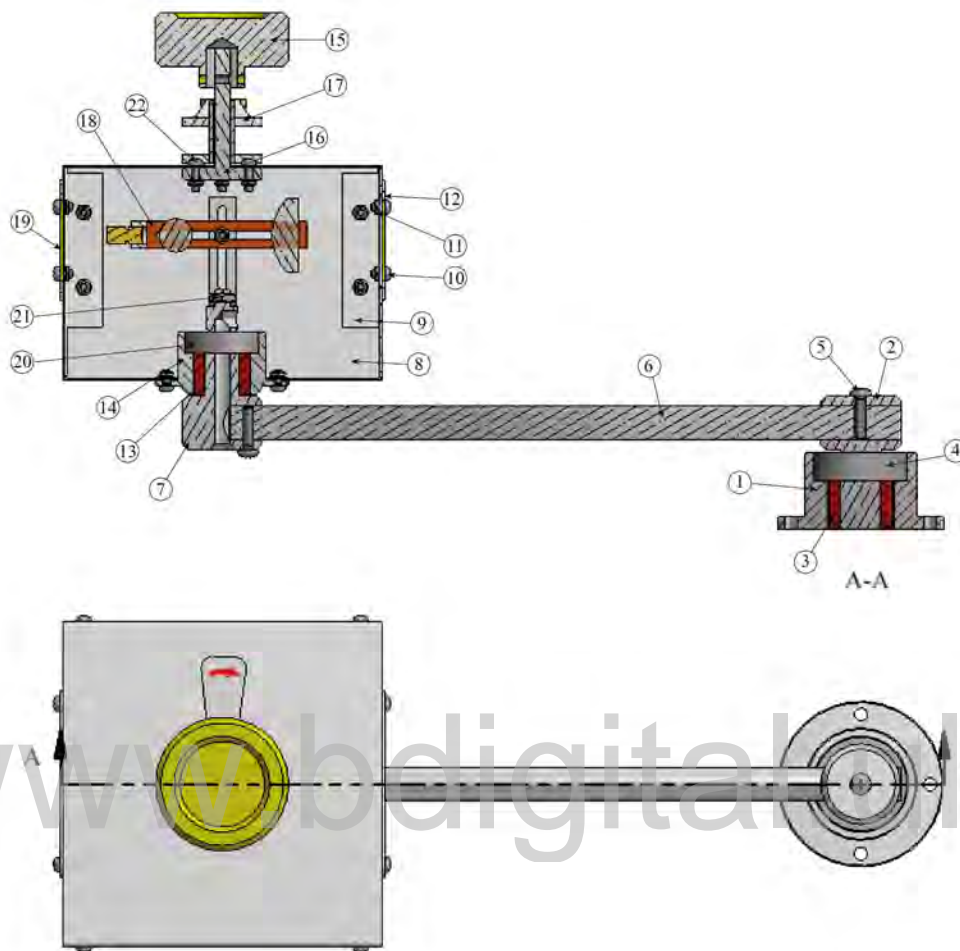


Figura A.2: Vista estallada de la fuente de luz



LISTA DE PIEZAS			
Elemento	Cantidad	Nombre	Descripción
1	1	Base 1	
2	1	Eje 1	
3	1	Anillo de poluretano	Ri=7.25mm. Re=12mm
4	1	SKF 6202	Rodamiento de bolas rígidas
5	2	ISO 7045-M4x16	Tornillo cabeza cilíndrica
6	1	Varilla	
7	1	Eje 2	
8	1	Chapa 2	
9	1	Chapa 1	
10	16	ISO 7045-M3x8	Tornillo cabeza cilíndrica
11	24	ISO 4035-M3	Tuerca hexagonal plana
12	1	Diaphragma de 1 rendija	
13	1	Anillo de poluretano	Ri=6.3mm. Re=10.5mm
14	1	Base de la caja	
15	1	Perilla	
16	1	Eje 3	
17	1	Sistema de ajuste	
18	1	Fuente de luz	
19	1	Diaphragma de 5 rendija	
20	1	SKF 6001	Rodamiento de bolas rígidas
21	1	ISO 4035-M6	Tuerca hexagonal plana
22	4	ISO 7045-M3x12	Tornillo cabeza cilíndrica

Figura A.3: Plano de conjunto del subconjunto fuente de luz

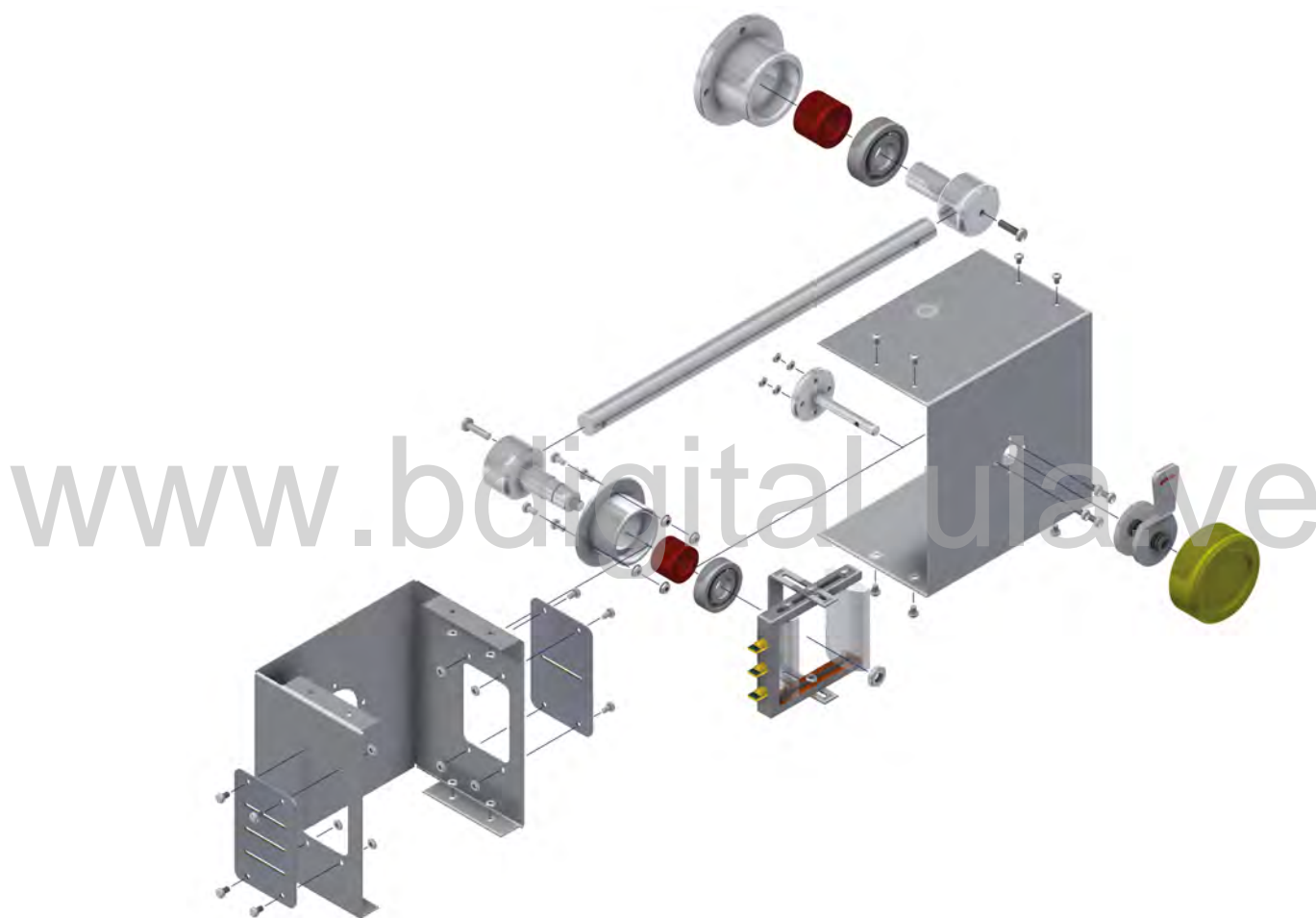
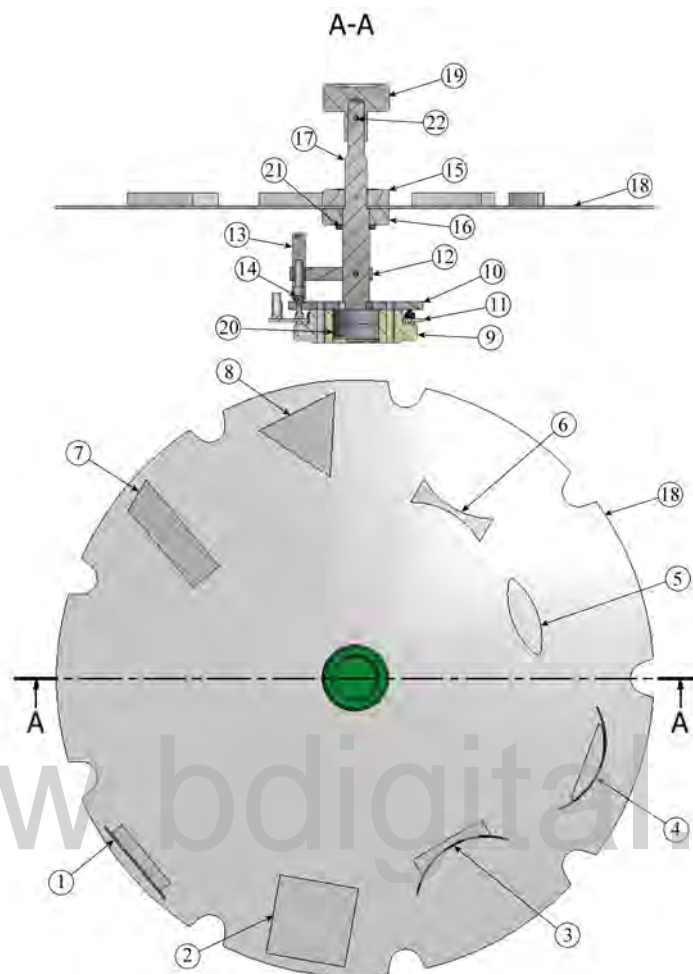


Figura A.4: Vista estallada del subconjunto fuente de luz



LISTA DE PIEZAS			
Elemento	Cantidad	Nombre	Descripción
1	1	Espejo plano	
2	1	Segmento de acrílico	
3	1	Espejo cóncavo	
4	1	Espejo cóncavo	
5	1	Lente biconcava	
6	1	Lente biconvexa	
7	1	Lente rectangular	
8	1	Prisma	
9	1	Base 2	
10	1	Placa de hierro	
11	1	Ensamble baquelita	
12	1	Vieja	
13	1	Opresor de balin	
14	1	Balin	
15	1	Arandela 1	
16	1	Arandela 2	
17	1	Eje 4	
18	1	Bandeja de experiencias	
19	1	Perilla	
20	2	SKF 6202	Rodamiento de bolas rígidas
21	4	ISO 10642-M5x30	Tornillo cabeza cilíndrica
22	2	DIN 913 M4x20	Tornillo sin cabeza

Figura A.5: Plano de conjunto del subconjunto bandeja de experiencias



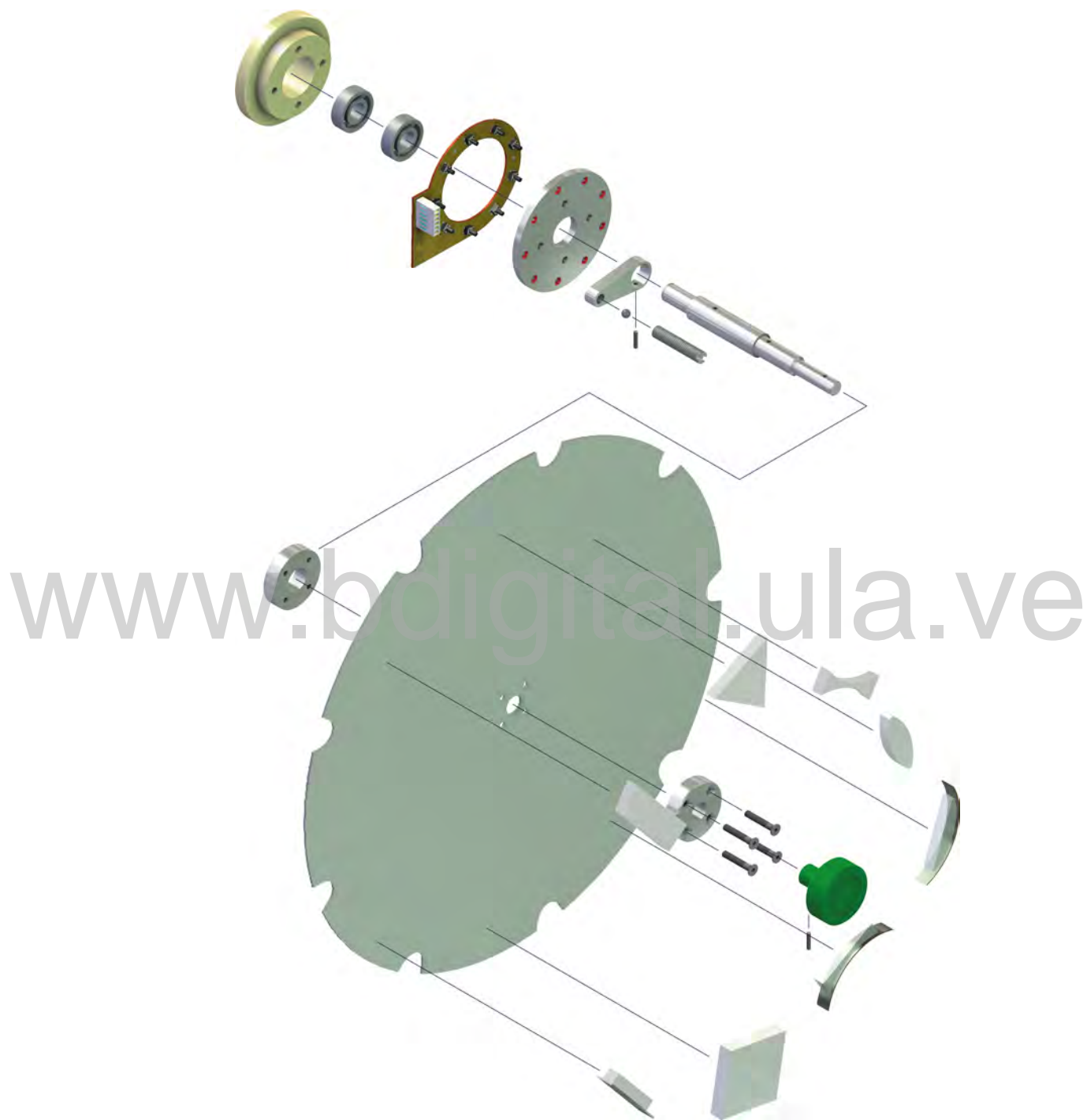
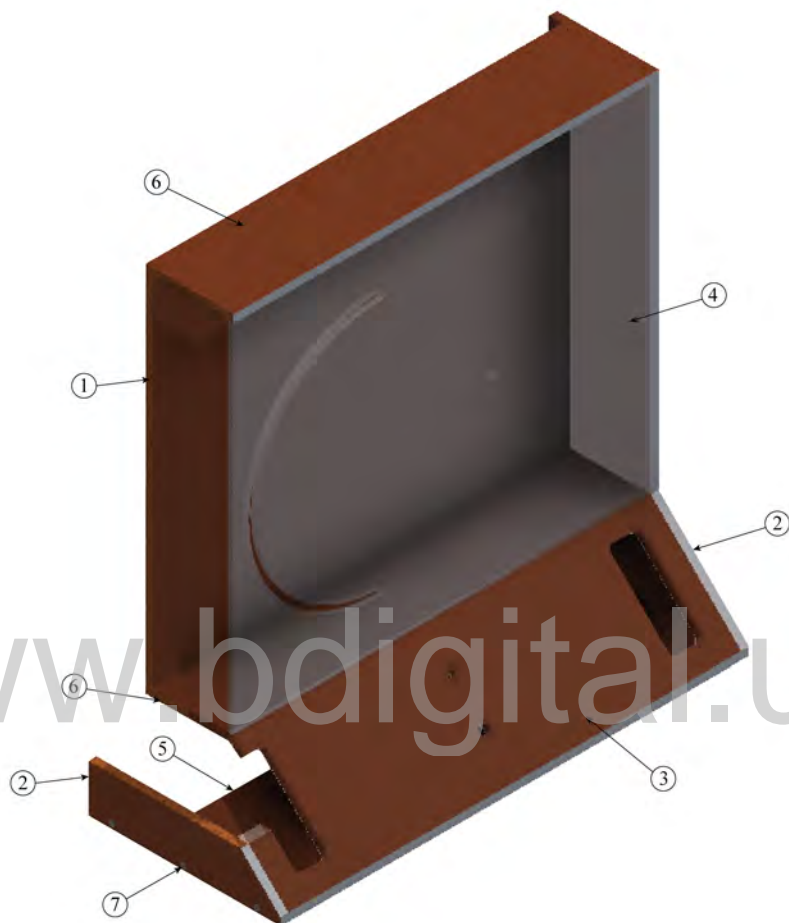


Figura A.6: Vista estallada del subconjunto Bandeja de experiencias



LISTA DE PIEZAS			
Elemento	Cantidad	Nombre	Descripción
1	1	Tabla posterior	
2	2	Tabla lateral	
3	1	Tabla de la consola	
4	1	Tapa frontal	
5	1	Tabla fondo	
6	2	Tabla de tope	
7	26	ISO 7050 2"	Tornillo Tirafondo

Figura A.7: Plano de conjunto del subconjunto armazón

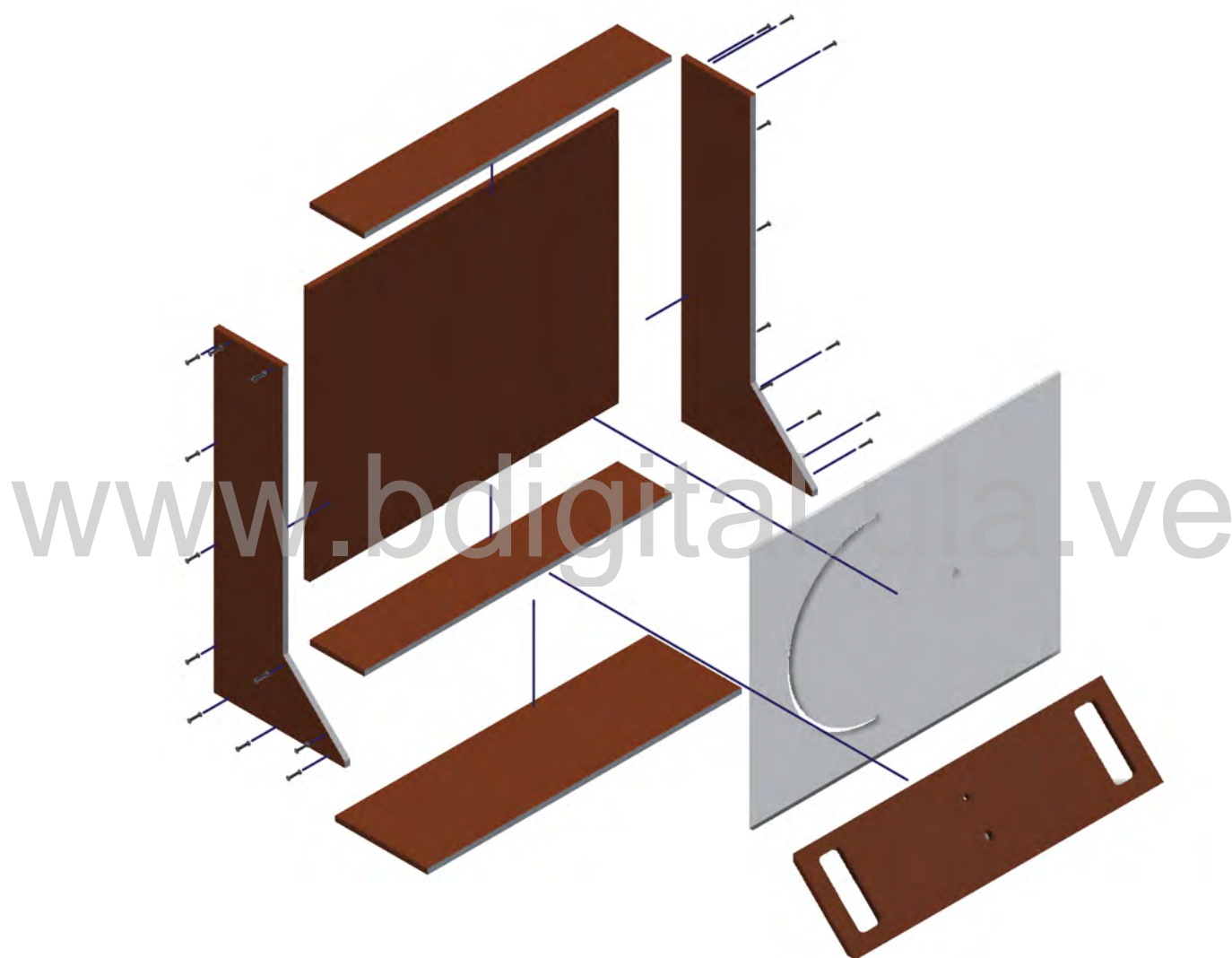


Figura A.8: Vista estallada del subconjunto armazón



Figura A.9: Fotografías del Sistema interactivo de enseñanza de la óptica geométrica





[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# **B** *APENDICE* **DIAGRAMA DE FLUJO Y** **PISTAS DE AUDIO**

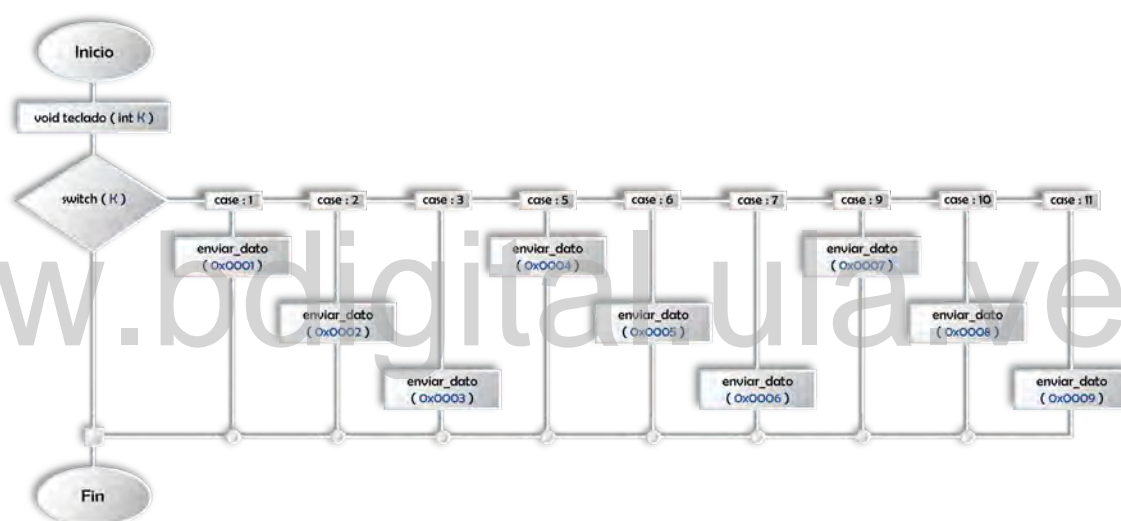


Figura B.1: Diagrama de flujo de la función teclado



Figura B.2: Diagrama de flujo de la función inicio\_reset



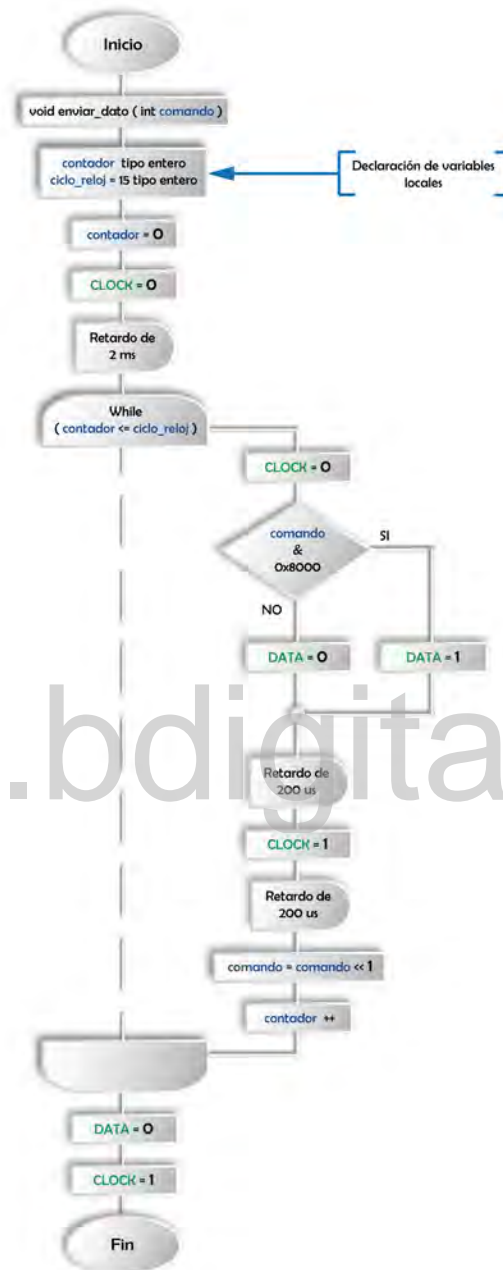


Figura B.3: Diagrama de flujo de la función enviar\_dato

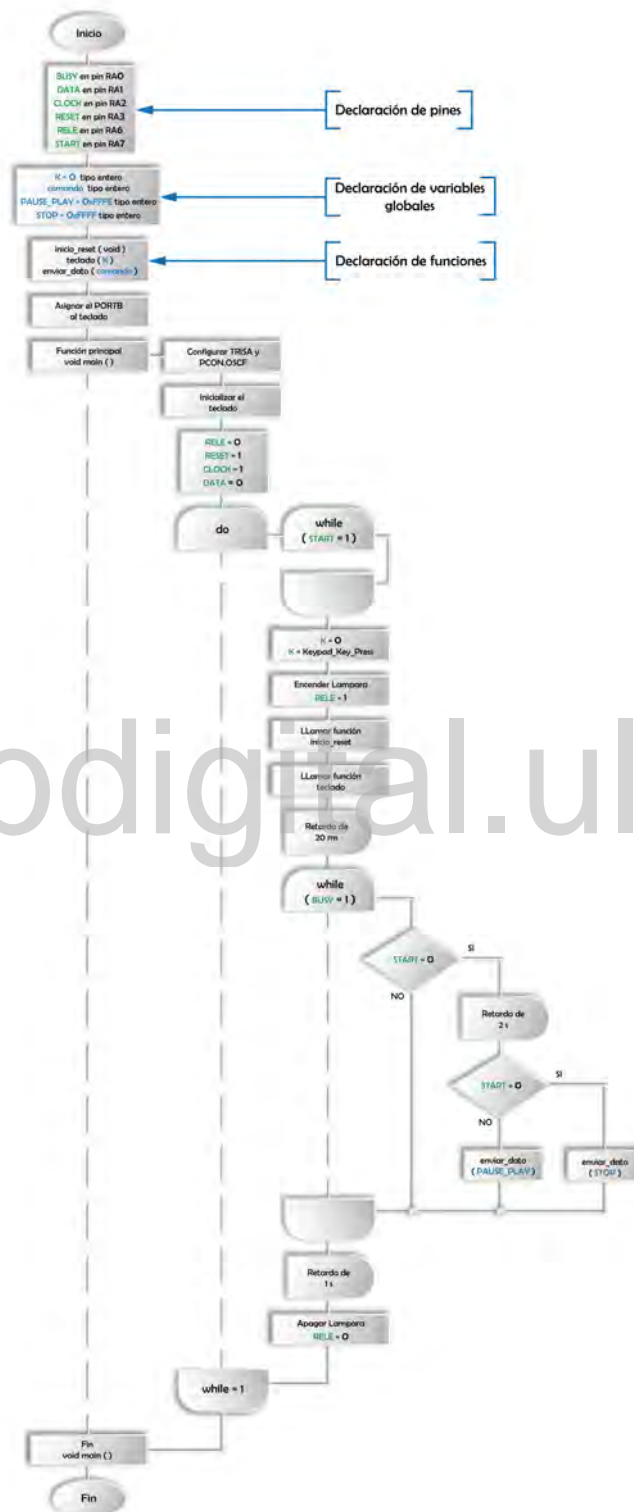
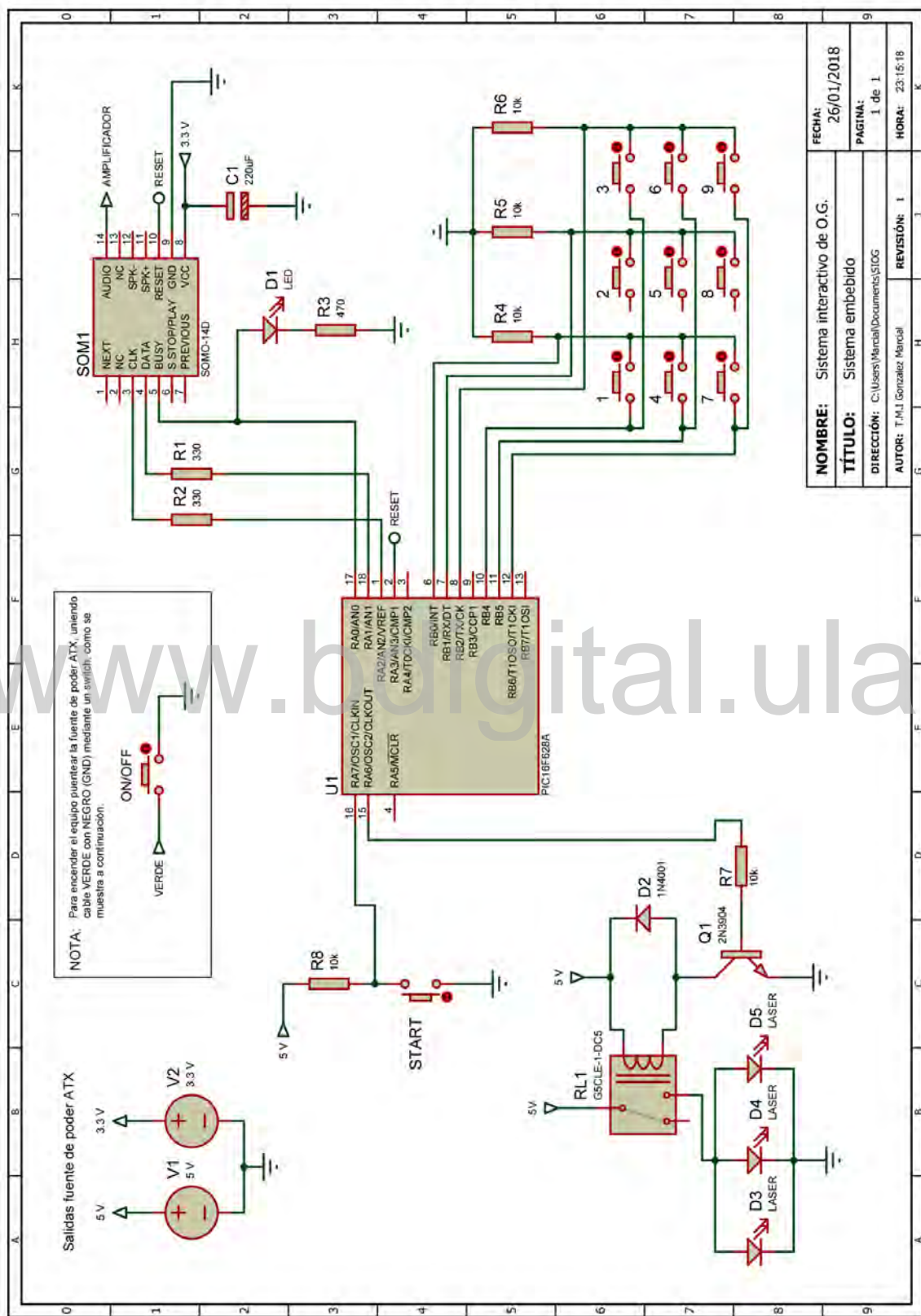


Figura B.4: Diagrama de flujo de la función principal



<b>NOMBRE:</b>	Sistema interactivo de O.G.	<b>FECHA:</b>	26/01/2018
<b>TÍTULO:</b>	Sistema embebido	<b>PAGINA:</b>	1 de 1
<b>DIRECCIÓN:</b>	C:\Users\Marcel\Documents\SIIG	<b>HORA:</b>	23:15:18
<b>AUTOR:</b>	T.M.J. González Marcial	<b>REVISIÓN:</b>	1

Figura B.5: Diagrama de conexiones del sistema embebido.

```

1:  /* Nombre del proyecto: Tesis Diseño y construcción de sistema interactivo para
2:                                la enseñanza de la óptica geométrica para su uso en
3:                                museos de ciencias.
4:  Autor: Gonzalez Marcial
5:  Descripcion: Codigo en MikroC para PIC16F628A
6:
7:  Configuracion:
8:      Microcontrolador: PIC16F628A
9:      Tarjeta de desarrollo: EasyPIC7
10:                               http://www.mikroe.com/easypic/
11:      Oscilador : Oscilador Interno a 4MHz
12:      Compilador: mikroC PRO for PIC V6.5.0
13:                               http://www.mikroe.com/mikroc/pic/
14:  Notas:
15:  */
16:
17:  //----- Declaracion de pines -----//
18:  sbit BUSY at RA0_bit;           //Renombra el pin RA0 como BUSY
19:  sbit DATA at RA1_bit;         //Renombra el pin RA1 como DATA
20:  sbit CLOCK at RA2_bit;         //Renombra el pin RA2 como CLOCK
21:  sbit RESET at RA3_bit;         //Renombra pin RA3 como RESET
22:  sbit RELE at RA6_bit;          //Renombra pin RA6 como RELE
23:  sbit START at RA7_bit;         //Renombra pin RA7 como START
24:
25:  //----- Declaracion de variables -----//
26:  unsigned short K = 0;
27:  int comando;
28:  int PAUSE_PLAY = 0xFFFF;
29:  int STOP = 0xFFFF;
30:
31:  //----- Declaracion de funciones -----//
32:  void inicio_reset(void);        //Envia el reset al SOMO-14D
33:  void teclado(int k);            //Lee la tecla pulsada en el teclado
34:  void enviar_dato(int comando);  //Envia el dato de tecla pulsada en
35:                                   //el teclado
36:
37:  char KeypadPort at PORTB;       //Asigna el PORTB al teclado
38:
39:  void main()
40:  {
41:      CMCON = 0x07;               //Apagar el modulo comparador
42:      OPTION_REG.F7 = 1;          //Inhabilitar la resistencias pull-up
43:      INTCON.T0IE = 0;            //Inhabilitar el TMR0
44:      T1CON.TMR1ON = 0;           //Parar timer 1
45:      T2CON.TMR2ON = 0;           //Parar timer 2
46:      PCON.OSCF = 1;              //Oscilador interno configurado a 4MHz
47:      TRISA = 0b10000001;         //RA7, RA0 como entradas el resto salidas
48:      Keypad_Init();              //Inicializa el teclado
49:      RELE = 0;                   //Pone en 0 logico al pin RELE
50:      RESET = 1;                  //Pone en 1 logico al pin RESET
51:      CLOCK = 1;                  //Pone en 1 logico al pin CLOCK
52:      DATA = 0;                  //Pone en 0 logico al pin DATA
53:      //inicio_reset();
54:      do{
55:          while (START == 1){}    //Si boton pin START = 1 espere aqui
56:          K = 0;                  //Asigna valor 0 a la variable K
57:          delay_ms(50);

```



```

57:     K = Keypad_Key_Press();           //Asigna a la variable K el valor de
58:                                         //la tecla presionada en el teclado
59:     RELE = 1;                          //Pone 1 logico al pin RELE
60:     delay_ms(100);
61:     inicio_reset();                    //Llamada de la funcion "inicio_reset"
62:     //delay_ms(100);
63:     // teclado(K);                     //Llamada de la funcion "teclado"
64:
65:     switch(K) {                        //Compara la variable K con cada caso
66:         case 1: enviar_dato(0x0001);    //Tecla 1
67:             break;
68:         case 2: enviar_dato(0x0002);    //Tecla 2
69:             break;
70:         case 3: enviar_dato(0x0003);    //Tecla 3
71:             break;
72:         case 5: enviar_dato(0x0004);    //Tecla 4
73:             break;
74:         case 6: enviar_dato(0x0005);    //Tecla 5
75:             break;
76:         case 7: enviar_dato(0x0006);    //Tecla 6
77:             break;
78:         case 9: enviar_dato(0x0007);    //Tecla 7
79:             break;
80:         case 10: enviar_dato(0x0008);   //Tecla 8
81:             break;
82:         case 11: enviar_dato(0x0009);   //Tecla 9
83:             break;
84:         default : break;
85:     }
86:
87:     delay_ms(2000);                    //tBUSY dado por datasheet SOMO-14D
88:     while (BUSY == 1)                  //Si pin BUSY = 1 entra en este bucle
89:     {
90:         if (START == 0)
91:             {delay_ms(2000);
92:              if (START == 0)
93:                  {enviar_dato(STOP);}
94:              else
95:                  {enviar_dato(PAUSE_PLAY);}
96:             }
97:         //delay_ms(1000);
98:         RELE = 0;                      //Pone 0 logico al pin RELE
99:     } while(1);
100: }
101: //----- Funcion "inicio_reset" -----//
102: void inicio_reset(void)
103: {
104:     RESET = 0;                        //Pone 0 logico al pin RESET
105:     delay_ms(10);                     //tRP dado por datasheet SOMO-14D
106:     RESET = 1;                        //Pone 1 logico al pin RESET
107:     delay_ms(300);                    //tRESET dado por datasheet SOMO-14D
108: }
109: //----- Funcion "teclado" -----//
110: //void teclado(int k)
111: // {
112: // }
113: //----- Funcion "enviar_dato" -----//

```

```

113: void enviar_dato(int comando)
114:     {int contador;                                //Declara variable local 'contador'
115:      int ciclo_reloj = 15;                        //Declara variable local 'ciclo_reloj'
116:      contador = 0;                                //Asigna valor 0 a la variable contador
117:      CLOCK = 0;                                   //Pone 0 logico al pin CLOCK
118:      delay_ms(2);                                 //tSTART dado por datasheet SOMO-14D
119:      while(contador <= ciclo_reloj)
120:      {CLOCK = 0;                                   //Pone 0 logico al pin CLOCK
121:       if (comando & 0x8000)                        //1 & 1 es verdad and 0 & 1 es falso
122:       {DATA = 1;}                                //Pone 1 logico al pin DATA
123:       else
124:       {DATA = 0;}                                //Pone 0 logico al pin DATA
125:       delay_us(200);                              //tCT dado por datasheet SOMO-14D
126:       CLOCK = 1;                                  //Pone 1 logico al pin CLOCK
127:       delay_us(200);                              //tCT dado por datasheet SOMO-14D
128:       comando = comando << 1;                    //Corre un bit a la izquierda a la
129:                                           //variable 'comando'
130:       contador++;                                //Aunmenta en 1 a la variable
131:                                           //'contador'
132:     }
133:     DATA = 0;                                    //Pone 0 logico al pin DATA
134:     CLOCK = 1;                                    //Pone 1 logico al pin CLOCK
135: }

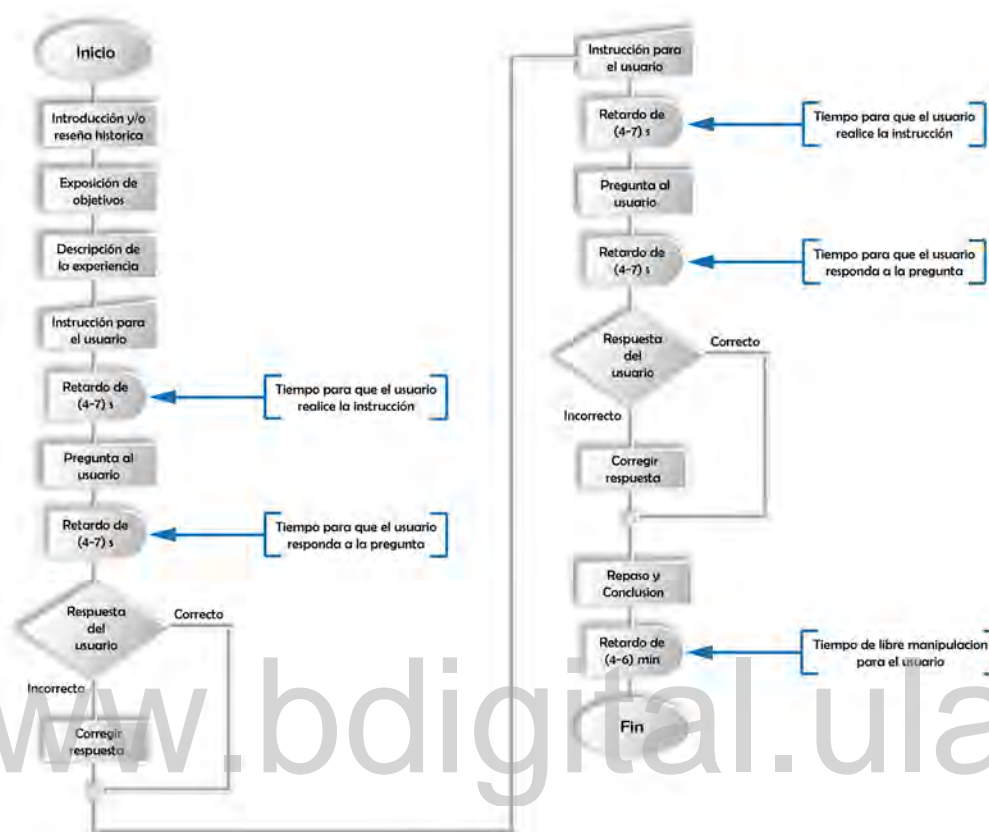
```

Figura B.6: Función principal del PIC16F628A

www.bdigital.ula.ve



Figura B.7: Diagrama de flujo de las pistas de audio.



Cuadro B.1: Pista de audio de la experiencia *Instrucciones*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema interactivo de óptica geométrica, una alternativa para la enseñanza de la física, dando una experiencia enriquecedora y estimulando el pensamiento científico.
Objetivo	La presente experiencia fue diseñada con la intención de proveer al usuario una introducción al sistema interactivo, describiendo sus partes y guiando al usuario para la manipulación de las diferentes partes que lo componen, a fin de realizar el uso correcto del sistema interactivo
Descripción	Este equipo fue diseñado y construido con la finalidad de demostrar y explicar en forma cualitativa los experimentos básicos de la óptica geométrica, de una manera eficiente para la complementación de los cursos de los estudiantes o de interés general.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Descripción	<p>A continuación se dará a conocer las partes del equipo y las instrucciones para su correcto funcionamiento, es de vital importancia seguir las instrucciones dadas, a fin de tener fluidez en la demostración del experimento seleccionado. Como pueden observar el equipo cuenta con cuatro partes, la fuente de luz, la bandeja de experiencias, el goniómetro y por último la consola.</p> <p><b>La Fuente de luz</b> es la que se encuentra a su izquierda, la cual está conformada por una caja de aluminio de color blanco con dos diafragmas de 1 y 3 rendijas, Esta fuente de luz tiene la capacidad de girar <math>360^\circ</math> en torno a su propio eje para seleccionar cualquiera de los dos diafragmas y además de realizar un movimiento circular respecto al punto “O” de <math>180^\circ</math> (<math>90^\circ</math> hacia arriba y <math>90^\circ</math> hacia abajo). Esta fuente de luz se manipula mediante la perilla de color amarillo y la palanca de ajuste de color blanco situada detrás de la perilla antes mencionada.</p> <p><b>La bandeja de experiencias</b> es en esta parte es donde se encuentran los elementos ópticos que serán usados para las demostraciones cualitativas y la cual será manipulada mediante la perilla de color verde. Esta parte cuenta con 9 secciones o experiencias, los cuales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrucciones.</li> <li>• Ley de reflexión.</li> <li>• Ley de refracción.</li> <li>• Espejo cóncavo.</li> <li>• Espejo convexo.</li> <li>• Lente convergente.</li> <li>• Lente divergente.</li> <li>• Reflexión interna total.</li> <li>• Prisma.</li> </ul> <p><b>El Goniómetro</b> es un instrumento utilizado para medir ángulos en grados, el cual está representado en un semicírculo graduado de <math>180^\circ</math>.</p> <p><b>La consola</b> es la sección del equipo donde se encuentran los dispositivos electrónicos, como el botón de encender el equipo, las salidas de audio, el botón INICIO, el cual cumple con la función de iniciar/pausar y parar la reproducción del audio y el led verde que su función es indicar que se está reproduciendo el audio cuando esta encendido.</p> <p>Ahora es momento de manipular el equipo, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contará con un tiempo estimado de entre (5 – 10)seg entre cada instrucción dada.</p>
Instrucción	Tome la perilla amarilla de la fuente de luz y gírelo hasta que el rayo que emerge del diafragma de una rendija coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro y ajuste la palanca blanca siguiendo la flecha roja.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Instrucción	Ahora gire la fuente de luz $180^\circ$ en cualquier dirección para seleccionar el diafragma de 3 rendijas, en esta ocasión podrá observar como emergen 3 rayos luminosos de la fuente de luz. Acá tomemos como referencia el rayo del centro tratando de hacerlo coincidir con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro en forma colineal.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Instrucción	Desajuste la palanca y luego suba la fuente de luz hasta que el tercer rayo coincida con la línea negra de $45^\circ$ del goniómetro en forma colineal y ajuste la palanca blanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Instrucción	Desajuste la palanca y luego baje la fuente de luz hasta que el tercer rayo coincida con la línea negra de $70^\circ$ del transportador en forma colineal y ajuste la palanca blanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Descripción	Continuando con la manipulación del sistema nos encontramos con la bandeja de experiencias, esta es bastante sencilla ya que solo se manipula por medio de la perilla con verde para seleccionar la experiencia deseada, recordando que la línea negra de $0^\circ$ del transportador debe coincidir con la línea negra de la bandeja de experiencias, por favor siga las instrucciones.
Instrucción	Tome la perilla verde y gírela suavemente en contra de las manecillas del reloj hasta seleccionar la experiencia de espejo cóncavo.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Instrucción	Luego gire la perilla verde suavemente en contra de las manecillas del reloj hasta seleccionar la experiencia del prisma.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Instrucción	Ahora gire la perilla verde hasta que seleccione la sección de instrucciones.
Descripción	Por ultimo tenemos la consola, como puede observar su diseño es muy sencillo ya que solo cuenta con las salidas de audio, un led indicador verde, el botón de encendido del equipo y el botón INICIO, el cual cuenta con tres funciones que son reproducir, pausar y parar la pista de audio.
Descripción	Para reproducir el audio solo tiene que presionar el botón INICIO y el led verde se encenderá, luego si vuelve a presionar el botón INICIO el audio se pausara pero el led verde aun permanecerá encendido, luego para continuar con la reproducción del audio vuelve a presionar el botón INICIO. Ahora para parar la reproducción del audio de manera que comience desde el principio tienes que mantener presionado el botón INICIO durante 2 segundos y el led indicador se apagará.
Final	<b>Finalización de la pista de audio</b>

Cuadro B.2: Pista de audio de la experiencia *Ley de reflexión*

Aspecto	Audio
Introducción	<p>Bienvenidos al equipo de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión estudiaremos la Ley de reflexión y los tipos de reflexión, mediante un espejo plano, pero antes es necesario definir que es la óptica geométrica</p> <p><b>La óptica geométrica</b> es la rama de la optica que estudia la luz sin definir realmente que es la luz y considerando que: La luz se propaga en linea recta entre dos puntos a través de un medio transparente y que esta sometida a leyes obtenidas empíricamente que determinan su comportamiento cuando llega a la separación entre dos medios diferentes. Entre estas leyes se encuentra la Ley de reflexión y la Ley de refracción.</p> <p>En la óptica geométrica para el desarrollo de estas leyes, la propagación de la luz se considera en términos del concepto teórico de rayo luminoso. Donde un <b>rayo luminoso</b> no es mas que una línea imaginaria que representa la dirección por la que la luz se propaga</p>
Objetivo	<p>En la presente experiencia tiene por objetivo explicar y demostrar la Ley de reflexión, así como también los tipos de reflexión mediante el uso de un espejo plano. A continuación se describe la experiencia.</p>
Descripción	<p>En la óptica el termino reflexión se refiere al cambio que experimenta un rayo luminoso en su trayectoria cuando incide sobre un objeto y rebota. Este comportamiento de la luz lo determina la Ley de reflexión, dicha ley se le acredita a Euclides quien la publico en su libro catoptrics (300 a.c).</p> <p>La ley de reflexión establece que, cuando un rayo luminoso incide de manera oblicua sobre una superficie pulida como un espejo y rebota hacia el mismo medio decimos que se refleja y cumple con las llamadas leyes de reflexión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1).- El rayo incidente forma un ángulo de incidencia respecto a la normal a la superficie que es igual al ángulo que forma el rayo reflejado respecto a la normal, denominado como ángulo de reflexión. es decir, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.</li> <li>2).- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal de la superficie se encuentran en un mismo plano.</li> </ol> <p>En cuanto a los tipos de reflexión, existen dos tipos de reflexión que son reflexión especular y reflexión difusa.</p> <p><b>La Reflexión especular:</b> se presenta si la superficie es lisa y uniforme, de manera que todos los rayos, después de reflejarse, mantendrán la misma relación entre ellos que tenían antes de la reflexión. En este caso las superficies reflectantes pueden formar imágenes y se dice que se produce una reflexión especular, el ejemplo más sencillo sería un espejo plano.</p> <p><b>La Reflexión difusa:</b> en este caso tenemos una superficie más o menos rugosa en la que todos los rayos se reflejan en cualquier dirección (pero siempre siguiendo la ley de reflexión), por tanto, no pueden formar una imagen y se dice que se produce una reflexión especular</p>

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Descripción	<p>por ejemplo una mesa de madera o una hoja de papel producen una reflexión muy difusa, en cambio si los metales están poco pulidos es producen una reflexión difusa pero si están muy pulidos producen una reflexión casi especular.</p> <p>Ahora es momento de demostrar la experiencia de la ley de reflexión, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contará con un tiempo estimado de entre 5 y 10 segundos entre cada instrucción dada.</p>
Instrucción	Tome la perilla amarilla de la fuente de luz y gírelo hasta que el rayo que emerge del diafragma de una rendija coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro en forma colineal, recuerde ajustar la palanca blanca siguiendo la flecha roja.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo que incide sobre la superficie del espejo es reflejado sobre sí mismo. Si recordamos las leyes de reflexión. Esto es debido a que el ángulo de incidencia del rayo es igual al ángulo de reflexión del rayo reflejado, ambos iguales a $0^\circ$ respecto a la normal de la superficie del espejo.
Instrucción	Desajuste la palanca blanca y ahora suba la fuente de luz hasta que el rayo luminoso coincida con la línea roja de $60^\circ$ grados del goniómetro y ajuste nuevamente la palanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Acá se puede notar que el rayo que incide sobre la superficie del espejo es reflejado también a $60^\circ$ grados. Esto es debido a que el ángulo de incidencia del rayo es igual al ángulo de reflexión de reflexión del rayo reflejado, ambos iguales a $60^\circ$ respecto a la normal de la superficie del espejo..
Instrucción	Desajuste la palanca blanca y ahora baje la fuente de luz hasta que el rayo luminoso coincida con la línea roja de $30^\circ$ grados del goniómetro y ajuste nuevamente la palanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Pregunta	Es momento de hacer una pregunta ¿En esta ocasión que valor tiene el ángulo de reflexión del rayo reflejado?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste $30^\circ$ estas en lo correcto, recuerda el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia
Instrucción	Ahora gire la fuente de luz $180^\circ$ en cualquier dirección para seleccionar el diafragma de 3 rendijas, y suba la fuente de luz hasta que el rayo del centro coincida con la línea negra de $60^\circ$ del goniómetro en forma colineal.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Explicación	Como puede observar dos rayos luminosos que emergen de la fuente de luz e inciden en la superficie del espejo plano son reflejados a $60^\circ$ respecto la normal a la superficie del espejo plano y mantienen el paralelismo entre ellos. Mientras que el último rayo no se reflejan. Esto es debido a que los tres primeros rayos representan una reflexión especular y el último rayo luminoso representan una reflexión difusa
Pregunta	Es momento de hacer una pregunta ¿Cuándo ocurre la reflexión difusa y la especular?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	recuerden la reflexión especular se da cuando la superficie es totalmente lisa y la reflexión difusa cuando la superficie presenta rugosidad.
Conclusión	Con esto queda demostrado la ley de reflexión y a manera de repaso se tiene que dicha ley establece que el ángulo de incidencia del rayo luminoso es igual al ángulo de reflexión y que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de Ley de reflexión.

Cuadro B.3: Pista de audio de la experiencia *Ley de refracción o Ley de Snell*

Aspecto	Audio
Introducción	<p>Bienvenidos al equipo de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión estudiaremos la Ley de refracción o Ley de Snell, mediante un segmento cuadrado de acrílico, pero antes es necesario definir un termino importante para comprender la ley de refracción.</p> <p>En la óptica el termino de medio transparente se refiere a los medios materiales que tiene la propiedad de que la luz puedan atravesarlos. Por ejemplo el vidrio, el aire, y esta propiedad es definida como indice de refracción. El termino <b>indice de refracción</b> se define como la relación existente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio transparente, dicho indice de refracción al ser una relación entre dos velocidades será entonces una magnitud adimensional, es decir sin unidades. Una vez descrito esté se procede con la experiencia de ley de refracción.</p>
Objetivo	La presente experiencia tiene por objetivo explicar y demostrar la Ley de refracción mediante el uso de un segmento cuadrado de acrílico. A continuación se describe la experiencia.

*Continúa en la próxima pagina*



Aspecto	Audio
Descripción	<p>En la óptica el termino refracción se refiere al cambio de trayectoria que sufre un rayo luminoso cuando atraviesa la frontera que separa dos medios transparentes. Esta desviación del rayo luminoso de la trayectoria inicial la describe la Ley de refracción o Ley de Snell, llamada así debido a que se le acredita a Willebrord Snell científico que la propuso.</p> <p>La Ley de refracción establece que cuando un rayo luminoso proveniente de un medio con índice de refracción <math>n_1</math> incide sobre la superficie de separación de un medio transparente con índice de refracción <math>n_2</math> formando un ángulo de incidencia denotado por <math>\theta_1</math> respecto la normal de la superficie, dicho rayo incidente se desviará de su trayectoria original formando un ángulo <math>\theta_2</math> denominado ángulo de refracción. Por tanto la expresión matemática de la ley de Snell es: el índice de refracción del medio uno multiplicado por el seno del angulo de incidencia sera igual al índice de refracción del medio dos multiplicado por el seno del angulo de refracción como se muestra en la bandeja de experiencia y la consola, ademas de que el rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.</p> <p>Ahora es momento de demostrar la experiencia de la ley de refracción, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contará con un tiempo estimado de entre 5 y 10 segundos entre cada instrucción dada.</p>
Instrucción	Tome la perilla amarilla de la fuente de luz y seleccione el diafragma de una rendija y muévela hasta que el rayo emergente coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo incidente y el rayo refractado mantienen la misma dirección, por tanto en este caso no existe refracción del rayo luminoso, esto es debido a que el rayo incidente incide de forma perpendicular a la superficie.
Instrucción	Ahora desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca y suba la fuente de luz hasta $25^\circ$ grados del goniómetro y ajuste nuevamente la palanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como se logra percibir en este caso el rayo luminoso incidente si se desvía de su trayectoria original al atravesar el segmento de acrílico, por tanto si existe la refracción. ahora nos toca determinar en que cantidad se desvía dicho rayo. Si logran observar dentro del segmento de acrílico hay un goniómetro, con el podemos determinar el angulo de refracción, en este caso tiene un valor de $17^\circ$ , de esta manera se deduce la ley de refracción.
Instrucción	Ahora desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca y baje la fuente de luz hasta $50^\circ$ grados del goniómetro y ajuste nuevamente la palanca.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Pregunta	Es momento de hacer una pregunta ¿En esta ocasión que valor tiene el ángulo de refracción del rayo luminoso refractado?
Demora	Esperar 6 <i>seg</i> (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste 31° estas en lo correcto, recuerda el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.
Conclusión	Con esto queda demostrado la ley de reflexión y a manera de repaso se tiene que dicha ley establece que el ángulo de incidencia del rayo luminoso es igual al ángulo de reflexión y que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de Ley de refracción o Ley de Snell.

Cuadro B.4: Pista de audio de la experiencia *Espejo cóncavo*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos una de las aplicaciones de la ley de reflexión cuando se aplica en un espejo cóncavo.
Objetivo	En la presente experiencia tiene por objetivos examinar la ley de reflexión cuando se aplica en un espejo cóncavo, además de exponer las partes de dicho espejo.
Descripción	<p>El espejo cóncavo o convergente como también es conocido, es un tipo de espejo curvo donde la superficie reflectante se encuentra curvada hacia adentro, existen diferentes tipos de espejos cóncavos, en lo que básicamente se diferencian es por los tipos de curvatura que puedan poseer, entre los mas comunes se encuentran con curvaturas esféricas, cilíndricas y parabólicas. En nuestro caso disponemos de un espejo con curvatura cilíndrica. Una de las características principales de los espejos cóncavos es que puede formar imágenes tanto reales como virtuales.</p> <p>Cuando se trabaja en óptica geométrica es habitual definir un conjunto de puntos que resultan útiles para el estudio de sistemas ópticos y que son nombrados como elementos cardinales. Entre ellos se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eje óptico: Es una línea imaginaria que pasa por los centros de curvatura que forman el sistema óptico, en nuestro caso esta representada por la línea punteada de color naranja.</li> </ul>

*Continúa en la próxima página*

## Aspecto Audio

### Descripción

- Centro de curvatura: se define como el punto cuya distancia a cualquier punto sobre la superficie reflectante de espejo curvo es constante y se representan con el punto de color naranja y letra  $C$ .
- Vértice: es el punto donde el eje óptico corta la superficie reflectante del espejo curvo y se muestra con el punto verde denotado con la letra  $V$ .
- Punto focal: el punto focal de un espejo cóncavo se define como el punto situado en el eje óptico a mitad de camino entre el centro de curvatura y el vértice, en nuestro caso se representa con el punto azul y denotado con la letra  $f$ .

Entre los usos mas comunes de los espejos cóncavos se encuentran en los telescopios reflectores con la función de concentrar toda la luz proveniente del espacio en un punto denominado *Foco*, también es ampliamente usado en los cuartos de baño para aumentar el tamaño de la imagen del rostro para aplicarse maquillaje o afeitarse.

Ahora es momento de analizar la aplicación de la ley de reflexión en el espejo cóncavo, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contara con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.

**Instrucción** Desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca, luego seleccione el diafragma de una rendija girando la perilla amarilla y mueva la fuente de luz hasta que el rayo coincida con la línea negra de  $0^\circ$  del goniómetro.

**Demora** Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

**Explicación** Como puede observar el rayo incidente se refleja sobre si mismo en correspondencia con la ley de reflexión, recuerden que en la ley de reflexión el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, siendo estos ángulos tomados desde la normal a la superficie.

**Instrucción** Ahora tome la perilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de tres rendijas.

**Demora** Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

**Explicación** En esta ocasión se logra observar como los tres rayos luminosos convergen en un punto en común, esto es debido a la forma cilíndrica que posee el espejo, permitiendo que todos los rayos paralelos al eje óptico que inciden en el espejo se reflejen y converjan en dicho punto siguiendo la ley de reflexión.

En la óptica geométrica este punto de convergencia es conocido como punto focal del espejo cóncavo y esta determinado por la ecuación  $f = R/2$  donde  $R$  toma el valor del radio de curvatura del espejo cóncavo.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Pregunta	Ahora es momento de realizar una pregunta, recordando que tendrá un tiempo estimado de 5 seg para responder. Bien esta es la pregunta ¿Cual es la ecuacion que sirve para calcular la distancia focal de un espejo cóncavo?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste $f = R/2$ esta en lo correcto, recuerda $f$ es la distancia comprendida entre el vertice y el punto focal y $R$ es el radio de curvatura del espejo concavo. Por ejemplo si tenemos un espejo concavo con radio de curvatura de 10cm ¿cual seria la distancia focal de dicho espejo?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Para un espejo concavo con radio de curvatura igual a 10cm su distancia focal es igual a 5cm, recuerda la distancia focal de un espejo cóncavo es la mitad del radio de curvatura.
Conclusión	Una vez descrito la experiencia es momento de repasar lo aprendido. Se tiene que un espejo cóncavo es un tipo de espejo curvo, donde su curvatura pueden tener geometría cilíndrica, esférica o parabólica y que la parte reflectante del espejo se encuentra curvada hacia adentro. También que dicho espejo tiene la propiedad de que todos los rayos incidentes paralelos al eje óptico que convergerán en el punto focal y que dicho punto es hallado mediante la ecuación $f = R/2$
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia del espejo cóncavo

Cuadro B.5: Pista de audio de la experiencia *Espejo convexo*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos una de las aplicaciones de la ley de reflexión cuando se aplica en un espejo convexo.
Objetivo	En la presente experiencia tiene por objetivos examinar la ley de reflexión cuando se aplica en un espejo convexo, ademas de exponer las partes de dicho espejo.
Descripción	El espejo convexo es un tipo de espejo curvo en el cual la superficie reflectante se encuentra deformada hacia la fuente de luz. Los espejos convexos reflejan la luz hacia afuera, por lo tanto no se utilizan para enfocar luz como en el caso de los espejos cóncavos. Estos espejos siempre forman una imagen virtual, dado que el foco $f$ y el centro de curvatura $C$ son ambos puntos imaginarios "dentro"del espejo, que no pueden ser alcanzados.

*Continúa en la próxima página*

---

Aspecto	Audio
---------	-------

Descripción	Por lo tanto, las imágenes que se forman en este tipo de espejos no pueden ser proyectadas en una pantalla, dado que la imagen se encuentra detrás del espejo.
-------------	--

Al igual que en los espejos cóncavos, los espejos convexos básicamente se diferencian por los tipos de curvatura que puedan poseer, entre los mas comunes se encuentran con curvaturas esféricas, cilíndricas y parabólicas. En nuestro caso disponemos de un espejo con curvatura cilíndrica. Cuando se trabaja en óptica geométrica es habitual definir un conjunto de puntos que resultan útiles para el estudio de sistemas ópticos y que son nombrados como elementos cardinales. Entre ellos se encuentran:

- Eje óptico: Es una línea imaginaria que pasa por los centros de curvatura que forman el sistema óptico, en nuestro caso esta representada por la línea punteada de color naranja.
- Centro de curvatura: se define como el punto cuya distancia a cualquier punto sobre la superficie reflectante de espejo curvo es constante y se representan con el punto de color naranja y letra  $C$ .
- Vértice: es el punto donde el eje óptico corta la superficie reflectante del espejo curvo y se muestra con el punto verde denotado con la letra  $V$ .
- Punto focal: el punto focal de un espejo cóncavo se define como el punto situado en el eje óptico a mitad de camino entre el centro de curvatura y el vértice, en nuestro caso se representa con el punto azul y denotado con la letra  $f$ .

Este tipo de espejos se suelen colocar en los pasillos de diversos edificios, incluidos hospitales, hoteles, escuelas. Por lo general están colocados donde hay esquinas pronunciadas. De esta forma ayudan a las personas que transitan por esas zonas ya que permiten mejorar la visibilidad en puntos donde es limitada. También es usado en los espejos retrovisores de un automóvil ya que dan una imagen no invertida aunque de menor tamaño. Además, ofrecen un campo de visión más amplio ya que están curvados hacia afuera.

Ahora es momento de analizar la aplicación de la ley de reflexión en el espejo convexo, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contara con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.

Instrucción	Desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca, luego seleccione el diafragma de una rendija girando la perilla amarilla y mueva la fuente de luz hasta que el rayo coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro.
-------------	--

Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
--------	--

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Explicación	Como puede observar el rayo incidente se refleja sobre si mismo en correspondencia con la ley de reflexión, recuerden que en la ley de reflexión el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, siendo estos ángulos tomados desde la normal a la superficie.
Instrucción	Ahora tome la perilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de tres rendijas.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	En esta ocasión se logra observar como los tres rayos luminosos divergen o se alejan a través de un punto en común, esto es debido a la forma cilíndrica que posee el espejo, permitiendo que todos los rayos paralelos al eje óptico que inciden en el espejo se reflejen y diverjan siguiendo la ley de reflexión. En la óptica geométrica este punto de divergencia es conocido como punto focal del espejo convexo y está determinado por la ecuación $f = R/2$ donde $R$ toma el valor del radio de curvatura del espejo cóncavo.
Pregunta	Ahora es momento de realizar una pregunta, recordando que tendrá un tiempo estimado de 5 seg para responder. Bien esta es la pregunta ¿Cual es la ecuación que sirve para calcular la distancia focal de un espejo convexo?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste $f = R/2$ esta es la correcta, recuerda $f$ es la distancia comprendida entre el vértice y el punto focal y $R$ es el radio de curvatura del espejo convexo. Por ejemplo si tenemos un espejo convexo con radio de curvatura de 10cm ¿cual seria la distancia focal de dicho espejo?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Para un espejo convexo con radio de curvatura igual a 10cm su distancia focal es igual a 5cm, recuerda la distancia focal de un espejo convexo es la mitad del radio de curvatura.
Conclusión	Una vez descrito la experiencia es momento de repasar lo aprendido. Se tiene que un espejo convexo es un tipo de espejo curvo, donde su curvatura pueden tener geometría cilíndrica, esférica o parabólica y que la parte reflectante del espejo se encuentra curvada hacia afuera. También que dicho espejo tiene la propiedad de que todos los rayos incidentes paralelos al eje óptico divergen a través del punto focal y que dicho punto es hallado mediante la ecuación $f = R/2$ .
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia del espejo convexo.



Cuadro B.6: Pista de audio de la experiencia *Lente biconvexa*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos una de las aplicaciones mas comunes de la experiencia de Ley de refracción o ley de Snell, mediante el uso de una lente biconvexa.
Objetivo	La presente experiencia tiene por objetivos examinar la ley de refracción cuando los rayos de luz interactúan con una lente biconvexa.
Descripción	<p>En la óptica una lente es un sistema óptico constituido por un medio material transparente que se encuentra limitada por dos superficies refractarias o dióptrios que separan dos medios con índices de refracción diferentes y que al menos una de estas superficies esta curvada.</p> <p>Existen diferentes tipos de lentes, pero básicamente se diferencian en como refractan la luz, entre ellas se encuentran las lentes convergentes y las divergentes. Es de aclarar que en esta experiencia estudiaremos las lentes convergentes, mientras que las divergentes serán analizadas en la experiencia de lente biconcava.</p> <p>Una <b>lente convergente</b> es una lente que tiene la propiedad de hacer converger los rayos de luz que atraviesan la lente en un punto en común, este punto de convergencia en la óptica es llamado foco de la lente, pero como puede observar en la bandeja de experiencias la lente biconvexa posee dos focos <math>f</math> representados por los puntos azules, esto es debido a que la luz puede atravesar la lente de izquierda a derecha o en sentido inverso. Para la obtención de la distancia focal de la lente, se recurre a la ecuación del fabricante de lentes, que es una relación entre la distancia focal <math>f</math>, el índice de refracción de la lente y los radios de curvatura <math>R_1</math> y <math>R_2</math> de las superficies curvas de la lente, dicha ecuación se expone a un lado de la lente.</p> <p>Ahora es momento de analizar la lente biconvexa, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contara con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.</p>
Instrucción	Desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca, luego seleccione el diafragma de una rendija girando la perilla amarilla y mueva la fuente de luz hasta que el rayo coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo luminoso sigue su trayectoria sin desviarse al atravesar la lente, por tanto en este caso no se produce la refracción del rayo luminoso, recuerden en la óptica el termino refracción se refiere al cambio de trayectoria que sufre un rayo al pasar de un medio a otro con índices de refracción diferentes.
Instrucción	Ahora tome la perilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de tres rendijas.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Explicación	En esta ocasión se logra observar como los tres rayos luminosos se intersecan en un punto en común, esto es debido a la forma cilíndrica de la lente, permitiendo que todos los rayos paralelos al eje óptico que inciden en la lente, se refracten y converjan en dicho punto siguiendo la ley de refracción. Es de aclarar que en las lentes los rayos luminosos sufren una doble refracción, es decir, primero se refracta a través de la primera superficie curva con radio de curvatura $R_1$ para luego volver a refractarse a por la segunda superficie con radio de curvatura $R_2$ hasta llegar al punto de convergencia o punto focal.
Pregunta	Ahora es momento de realizar una pregunta, recordando que tendrá un tiempo estimado de 5 seg para responder. Bien esta es la pregunta ¿Como se llama la ecuación con la que se halla la distancia focal de una lente biconvexa?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste la ecuación del fabricante de lentes estas en lo correcto. Recuerda la ecuación del fabricante de lentes da la relación entre la distancia focal, los índices de refracción de la lente, así como también el medio que rodea la lente y los radios de curvatura de las superficies de la lente.
Conclusión	En conclusión se tiene que la experiencia de la lente biconvexa es una aplicación de la ley de refracción, este tipo de lentes es la que tiene mayores aplicaciones, tanto en el sector industrial como medico y en la astronomía, de hecho la aplicación mas simple de la lente biconvexa es la lupa, recuerden una lente biconvexa es una lente que es mas gruesa en su centro y que tiene la propiedad de hacer converger todos los rayos paralelos al eje óptico que la atraviesan en el punto focal.
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de Lente biconvexa

Cuadro B.7: Pista de audio de la experiencia *Lente biconcava*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos una de las aplicaciones mas comunes de la experiencia de Ley de refracción o ley de Snell, mediante el uso de una lente biconcava.
Objetivo	La presente experiencia tiene por objetivos examinar la ley de refracción cuando los rayos de luz interactúan con una lente biconcava.

*Continúa en la próxima pagina*

Aspecto	Audio
Descripción	<p>En la óptica una lente es un sistema óptico constituido por un medio material transparente que se encuentra limitada por dos superficies refractarias o dióptrios que separan dos medios con índices de refracción diferentes y que al menos una de estas superficies esta curvada. Existen diferentes tipos de lentes, pero básicamente se diferencian en como refractan la luz, entre ellas se encuentran las lentes convergentes y las divergentes. Es de aclarar que en esta experiencia estudiaremos las lentes divergentes.</p> <p>Una <b>lente divergente</b> es una lente que tiene la propiedad de hacer que diverjan los rayos de luz que atraviesan la lente a través de un punto en común, este punto de divergencia en la óptica es llamado foco de la lente, pero cómo puede observar en la bandeja de experiencias la lente biconcava posee dos focos <math>f</math> representados por los puntos azules, esto es debido a que la luz puede atravesar la lente de izquierda a derecha o en sentido inverso. Para la obtención de la distancia focal de la lente, se recurre a la ecuación del fabricante de lentes, que es una relación entre la distancia focal <math>f</math>, el índice de refracción de la lente y los radios de curvatura <math>R_1</math> y <math>R_2</math> de las superficies curvas de la lente, dicha ecuación se expone a un lado de la lente.</p> <p>Ahora es momento de analizar la lente biconcava, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contará con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.</p>
Instrucción	Desajuste la fuente de luz girando la palanca blanca, luego seleccione el diafragma de una rendija girando la perilla amarilla y mueva la fuente de luz hasta que el rayo coincida con la línea negra de $0^\circ$ del goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo luminoso sigue su trayectoria sin desviarse al atravesar la lente, por tanto en este caso no se produce la refracción del rayo luminoso, recuerden en la óptica el termino refracción se refiere al cambio de trayectoria que sufre un rayo al pasar de un medio a otro con índices de refracción diferentes.
Instrucción	Ahora tome la perilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de tres rendijas.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima pagina*

Aspecto	Audio
Explicación	En esta ocasión se logra observar como los tres rayos luminosos al atravesar la lente se desvían separándose uno del otro a través del punto focal, esto es debido a la geometría de la lente, permitiendo que todos los rayos paralelos al eje óptico que inciden en la lente, se refracten y diverjan a través de dicho punto siguiendo la ley de refracción. Los rayos luminosos sufren una doble refracción, es decir, primero se refracta a través de la primera superficie curva con radio de curvatura $R_1$ para luego volver a refractarse a por la segunda superficie con radio de curvatura $R_2$ para divergir a través del punto focal.
Pregunta	Ahora es momento de realizar una pregunta, recordando que tendrá un tiempo estimado de 5 seg para responder. Bien esta es la pregunta ¿Como se llama la ecuación con la que se halla la distancia focal de una lente biconvexa?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	Si dijiste la ecuación del fabricante de lentes estás en lo correcto. Recuerda la ecuación del fabricante de lentes da la relación entre la distancia focal, los índices de refracción de la lente, así como también el medio que rodea la lente y los radios de curvatura de las superficies de la lente.
Conclusión	En conclusión se tiene que la experiencia de la lente biconcava es una aplicación de la ley de refracción, este tipo de lentes se usan en optometría para compensar defectos o errores refractivos tales como la miopía y algunos tipos de astigmatismo, recuerden una lente biconcava es una lente que es mas fina en su centro y que tiene la propiedad de hacer que diverjan todos los rayos paralelos al eje óptico que la atraviesan a través del punto focal.
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de la Lente biconcava

Cuadro B.8: Pista de audio de la experiencia *Reflexión interna total*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos un efecto interesante de la óptica que tiene grandes aplicaciones en la industria de las telecomunicaciones y la medicina, dicho efecto es llamado <i>Reflexión interna total</i> .
Objetivo	Esta experiencia tiene por objetivo analizar la reflexión interna total mediante el uso de un segmento de acrílico con de forma trapecio rectangular.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Descripción	<p>El fenómeno de la reflexión interna total ocurre cuando un rayo luminoso que se traslada a través de un medio con índice de refracción dado intenta pasar a otro medio con índice de refracción menor, de tal modo que al refractarse el rayo luminoso es incapaz de atravesar la superficie que separa ambos medios, reflejándose completamente en el medio por donde se propaga.</p> <p>Para que este fenómeno ocurra es necesario que al ángulo del rayo luminoso incidente respecto a la normal sea mayor o igual al ángulo crítico <math>\theta_c</math>, ya que para este ángulo, el ángulo de refracción del rayo sera igual a <math>90^\circ</math>, es decir, se traslada a través de la superficie de separación de los dos medios. Para todos los ángulos mayores que el ángulo crítico, el rayo luminoso no atravesará la superficie de separación de los medios y es reflejada internamente de manera total. Para el calculo del ángulo critico se emplea la ley de Snell o Ley de refracción.</p> <p>A continuación analizaremos el fenómeno, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contara con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.</p>
Instrucción	Tome la perilla amarilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de una rendija, luego baje la fuente de luz hasta que el rayo que emerge de ella coincida con $80^\circ$ en el goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo incidente se refracta a través de la superficie 1 para continuar y luego refractarse por la superficie 2 logrando escapar del medio material, por tanto en este caso no se presenta el fenómeno de reflexión total interna.
Instrucción	A continuación desajuste la fuente de luz y suba lentamente hasta llegar a $66^\circ$ de manera que logre observar lo que ocurre cuando el rayo se refracta a través de la superficie 2
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	En esta ocasión se observo como el rayo que se refractaba a través de la superficie 2 fue alejándose de la normal hasta situarse sobre la superficie 2. A partir de este punto es donde ocurre el fenómeno de reflexión interna total. Si logra observar en el goniómetro interno del segmento de acrílico percibirá que el ángulo crítico para él es de aproximadamente $42^\circ$
Instrucción	A continuación desajuste la fuente de luz y continúe subiéndola lentamente hasta llegar a $20^\circ$ en el goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
Explicación	Como puede observar el rayo luminoso continua sin poder atravesar la superficie 2. Esto es debido a que el ángulo de incidencia dentro del segmento de acrílico es mayor que el ángulo critico, en este caso $42^\circ$ . Es de aclarar que la reflexión interna total se presenta es dentro del segmento de acrílico y no fuera de él.
Pregunta	Ahora es momento de hacer una pregunta ¿Que condición es necesaria para que ocurra la reflexión interna total?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	La condición necesaria para que ocurra la reflexión interna total es que el rayo luminoso se dirija de un medio con indice de refracción dado hacia un medio con indice de refracción menor.
Conclusión	En conclusión se tiene que el fenómeno de reflexión interna total ocurre cuando un rayo luminoso no es capaz de atravesar la superficie de separación entre dos medios con indices de refracción diferente, quedándose confinado en el medio original. Este fenómeno es ampliamente usado en telecomunicaciones mediante la fibra óptica que consiste en el transporte de pulsos de luz a través de delgadas fibras de vidrio o algún plástico transparente.
Final	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de reflexión interna total.

Cuadro B.9: Pista de audio de la experiencia *Prisma de ángulo recto*

Aspecto	Audio
Introducción	Bienvenidos al sistema de óptica geométrica interactiva, en esta ocasión analizaremos una de las aplicaciones de la reflexión interna total mediante un prisma de ángulo recto.
Objetivo	Esta experiencia tiene por objetivo analizar la reflexión interna total mediante el uso de un prisma de ángulo recto.
Descripción	Un prisma de ángulo recto, es un poliedro con base poligonal de tres lados compuesto por material transparente limitado por dos o mas caras planas, donde se cambia a voluntad la dirección de los rayos luminosos, de tal manera que cuando un rayo luminoso incide sobre la segunda cara, en lugar de refracción el rayo luminoso experimenta una reflexión interna total, emergiendo por la cara de entrada o por la otra. Estos prismas son de gran importancia en la construcción de instrumentos ópticos como: microscopios, telescopios y binoculares. A continuación analizaremos el fenómeno, por favor siga las instrucciones, teniendo en cuenta de que contará con un tiempo estimado entre 5 - 10 seg para realizar la instrucción.

*Continúa en la próxima página*



Aspecto	Audio
Instrucción	Tome la perilla amarilla de la fuente de luz y gírela hasta seleccionar el diafragma de una rendija, luego baje la fuente de luz hasta que el rayo que emerge de ella coincida con $70^\circ$ en el goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo incidente se refracta a través de la superficie 1 para continuar y luego refractarse por la superficie 2 logrando escapar del medio material, por tanto en este caso no se presenta el fenómeno de reflexión total interna.
Instrucción	A continuación desajuste la fuente de luz y suba lentamente hasta llegar a $0^\circ$ de manera que logre observar lo que ocurre cuando el rayo se refracta a través de la superficie 2
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	En esta ocasión se observo como el rayo que se refractaba a través de la superficie 2 fue alejándose de la normal hasta situarse sobre la superficie 2. A partir de este punto es donde ocurre el fenómeno de reflexión interna total. Si logra observar en el goniómetro interno del segmento de acrílico percibirá que el ángulo de desviación del rayo es de $90^\circ$ , la cual es la función de este tipo de prisma
Instrucción	A continuación desajuste la fuente de luz y continúe subiéndola lentamente hasta llegar a $20^\circ$ en el goniómetro.
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Explicación	Como puede observar el rayo luminoso continua sin poder atravesar la superficie 2. Esto es debido a que el ángulo de incidencia dentro del segmento de acrílico es mayor que el ángulo crítico, en este caso $42^\circ$ . Es de aclarar que la reflexión interna total se presenta es dentro del segmento de acrílico y no fuera de él.
Pregunta	Ahora es momento de hacer una pregunta ¿Cual es la funcion o para que se usa un prisma de ángulo recto?
Demora	Esperar 6 seg (estas instrucciones no se dicen en el audio), sonido reloj.
Respuesta	El uso de prismas de ángulo recto en la óptica es para desviar el rayo $90^\circ$ respecto al rayo incidente.
Conclusión	En conclusión se tiene que un prisma de ángulo recto es un poliedro con base poligonal de tres lados compuesto por material transparente limitado por dos o más caras planas, usado con la intención de cambiar la dirección de los rayos luminosos en $90^\circ$ respecto al rayo original mediante el fenómeno de reflexión interna total y que son de gran importancia en la construcción de instrumentos ópticos tales como: microscopios, telescopios y binoculares.

*Continúa en la próxima página*

Aspecto	Audio
<b>Final</b>	A continuación, se les dará un tiempo estimado de 4 minutos para la libre manipulación del equipo a manera de que interactúe un poco más con la experiencia de prisma ángulo recto.

www.bdigital.ula.ve