



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

*“Rediseño de componentes optomecánicos para aplicación
en ciencias visuales”*

TESIS

Para obtener el título de:
Ingeniero en Diseño

Presenta:

Miroslava Leyva Pacheco

Co-directores:

Dr. Angel Sinué Cruz Félix

Dr. Agustin Santiago Alvarado

Huajuapán de León, Oaxaca, Diciembre 2019

Dedicatoria

*A Margarita y Elizabeth;
por su apoyo incondicional y
por siempre creer en mí*

Agradecimientos

A mis padres, por su amor, paciencia, trabajo y sacrificio durante todos estos años, por permitirme llegar hasta donde estoy y alentarme a ir por más; a mi padre Armando, por los valores inculcados y por siempre anhelar lo mejor para mi vida, a mi madre Margarita por absolutamente todo, esta tesis es un logro más que sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ti.

A mi hermana y mejor amiga, Elizabeth, a quien admiro cada día más por su constante motivación y consejos que me orientaron a tomar las mejores decisiones, y por todas las oportunidades que me brinda.

A mis hermanos Armando y Leonardo, por el aporte que cada uno de ellos hizo a mi persona, independientemente de cual haya sido, gracias.

A mi familia Pacheco, quienes de una u otra forma me acompañan en todas mis metas.

A mis directores de tesis; *Dr. Angel S. Cruz Félix* y *Dr. Agustín Santiago Alvarado* por brindarme su apoyo, atención y conocimientos, así mismo, agradezco a los alumnos que formaron parte del cuerpo académico de óptica y a Omar Cruz, encargado del laboratorio de posgrado; a todos ellos por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A mis sinodales: *M.C Víctor Manuel Cruz Martínez, M.P.I.I.O Fernando Iturbide Jiménez* y al *Dr. Jorge González García*, por el tiempo dedicado en la revisión del documento y los aportes para mejorarlo.

De igual manera, agradezco a la Universidad Tecnológica de la Mixteca y a cada uno de mis profesores por sus valiosos conocimientos.

Por último, pero no menos importante agradezco a *Nadia, Jessica, Nancy, Belen, Luis David, Rafael y Luis Heredia*, quienes me han honrado con su amistad, apoyo y cariño en distintas etapas y que, a la fecha, lo siguen haciendo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
CAPÍTULO 1.0	1
I.Introducción	3
II.Antecedentes.....	4
III.Planteamiento del tema.....	8
IV.Problemas a resolver	10
V.Objetivo general.....	14
VI.Objetivos específicos y metas	14
VII.Justificación.....	15
VIII.Metodología.....	16
CAPÍTULO 2.0 MARCO TEÓRICO	21
2.1 Ingeniería en diseño.....	21
2.1.1 Diseño y Rediseño.....	21
2.1.2 Ideación e invención.....	22
2.2 Diseño Mecánico	23
2.2.1 Fundamentos del Diseño Mecánico.....	24
2.3 Principios de Diseño Optomecánico.....	25
2.4 Normas de Dibujo Técnico	25
2.5 Tolerancia de fabricación.....	26
2.6 Diseño e Ingeniería asistido por computadora (CAD)	27
2.6.1 Estructura CAD.....	28
2.7 Reuniones DEEPAND	29
2.8 Impresión 3D aplicada a la Optomecánica	30
2.8.1 Materiales de la Impresión 3D.....	32
2.9 Identificación de proyectos afines.....	33
CAPÍTULO 3.0 DESARROLLO DEL PRODUCTO	35
3.1 Perfil del usuario.....	39
3.1.2 Declaración de la misión.....	40
3.2 Especificaciones del producto.....	40
3.4 Arquitectura del modelo optomecánico.....	49
3.5 Descripción del modelo optomecánico.....	53

3.5.1 Montura optomecánica.....	54
3.6 Lente sólida elástica.....	55
3.7 Materiales	56
CAPÍTULO 4.0 DESARROLLO DEL CONCEPTO	60
4.0 Desarrollo de concepto.....	61
4.1 Análisis y evaluación del Prototipo cero	61
4.1.1 Análisis geométrico.	61
4.1.2 Evaluación del análisis geométrico.	66
4.1.3 Análisis funcional.....	67
4.1.4 Evaluación del análisis funcional.....	69
4.2 Conceptualización de subsistemas	71
4.2.1 Subsistema de lente elástica.....	73
4.2.2 Subsistema de luz.	75
CAPÍTULO 5.0 DISEÑO A DETALLE Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	81
5.1 Propuesta 1.....	81
5.1.1 Piezas Generales.	81
5.1.2 Subsistema de luz	82
5.1.3 Subsistema de lente elástica.....	83
5.2 Propuesta 2.....	84
5.2.1 Piezas Generales.	84
5.2.2 Subsistema de luz	85
5.2.3 Subsistema de lente.....	85
5.3 Modelado CAD.....	86
5.3.1 Propuesta 1.	86
5.3.2 Propuesta 2.	89
5.4 Fase de decisión	92
5.5 Modelo optomecánico 2.1.....	95
5.5.1 Renders del modelo optomecánico 2.1.....	99
CAPÍTULO 6.0 PRUEBAS Y REFINAMIENTO.....	103
6.1 Análisis de Elemento Finito.....	103
6.1.1 Creación del estudio del análisis estático.	103
6.1.2 Condiciones de contorno.....	105
6.1.3 Mallado de geometría.	107

6.1.4 Resolución de estudio.....	108
6.1.5 Comportamiento mecánico de la lente elástica.....	111
6.2 Manufactura de piezas	112
6.2.2 Manufactura de la lente elástica.....	113
6.2.3 Manufactura de la montura optomecánica.....	114
6.3 Comparativa de modelos optomecánicos.....	116
6.3.1 Comparativa del desempeño óptico de la Lente elástica	117
6.3.2 Comparativa del desempeño del Subsistema de luz	119
CAPÍTULO 7.0 CONCLUSIONES	123
7.1 Trabajo a futuro	124
BIBLIOGRAFÍA	127
ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Imágenes de las lentes GRIN esféricas bioinspiradas del ojo humano anterior y posterior. [Imagen tomada de, (Ji, et. al., 2012)].....	5
FIGURA 2. Sistema, que muestra el micro-iris, lente ajustable y CCD. [Imagen tomada de, (Schuhladen, Petsch, Liebertraut, Müller, & Zappe, 2013).....	5
FIGURA 3. Vista de sección del dispositivo que muestra una lente llena con fluido rodeada por un actuador de músculo artificial. [Imagen tomada de, (Capri, Frediani, Turco & De Rossi, 2011)].....	5
FIGURA 4. Prototipo Cero Optomecánico, [Imagen tomada de, (Cruz-Félix, Santiago-Alvarado, Hernández-Méndez, Reyes-Perez, & Tepichin-Rodríguez, 2016)].....	7
FIGURA 2.1. Casa de la calidad.....	33
FIGURA 2.2 Dibujo CAD del ojo KNU. [Imagen tomada de, (Choi, Son, & Lee, 2009)].....	34
FIGURA 2.3 Vista de sección del modelo optomecánico del ojo humano. [Imagen tomada de, (Arianpour, y otros, 2013)].....	34
FIGURA 2.4 Cuerpo de la lente rodeada por actuadores. [Imagen tomada de, (Schuhladen, Petsch, Liebertraut, Müller, & Zappe, 2013)].....	35
FIGURA 2.5 Diagrama esquemático de la propuesta de lente sintonizable, [Imagen tomada de, (Liang, Wang, & Du, 2015)].....	35
FIGURA 3.1 Sistema en explosivo, tomado de (Hernández Echeverría, 2016).....	45
FIGURA 3.2. Sistema de sujeción de la lente con la montura mecánica; tomada de (Castillejos Reyes, 2012).....	45
FIGURA 3.3 Diagrama funcional general de la montura optomecánica.....	47
FIGURA 3.4 Descomposición del diagrama funcional del modelo optomecánico.....	48
FIGURA 3.5 Secuencia de subsistemas aislados de la descomposición del diagrama del modelo optomecánico.....	48
FIGURA 3.6 Explosivo del subsistema de luz.....	54
FIGURA 3.7 Explosivo del subsistema de lente elástica.....	55
FIGURA 4.1 Diagramas técnicos de diseño a partir de las aproximaciones.....	72
FIGURA 4.2 Nueva secuencia de subsistemas aislados de la descomposición del diagrama funcional del modelo optomecánico rediseñado.....	72
FIGURA 4.3 Lente elástica con sistema de sujeción. Tomada de (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015).....	73
FIGURA 4.4 Boceto de lente elástica con la nomenclatura correspondiente.....	74
FIGURA 4.5 Primera composición del subsistema de luz.....	75
FIGURA 4.6 Segunda composición del subsistema de luz.....	76
FIGURA 4.7 Tercera composición del subsistema de luz.....	76
FIGURA 5.1 Boceto que muestra la propuesta de alineación del modelo optomecánico.....	81
FIGURA 5.2 Boceto del soporte de motor sobre la base principal.....	81
FIGURA 5.3 Boceto del Disco de Ajuste del subsistema de luz.....	82
FIGURA 5.4 Boceto de la base del subsistema de luz.....	82
FIGURA 5.5 Boceto de la base correspondiente al subsistema de lente.....	83
FIGURA 5.6 Boceto del Disco de ajuste.....	83
FIGURA 5.7 Boceto de la propuesta de Manivela del subsistema de lente.....	83
FIGURA 5.8 Alineación y diseño de soportes para los motores.....	84
FIGURA 5.9 Diseño de seguros para el soporte B.....	84
FIGURA 5.10 Montura del diafragma de iris para el subsistema de luz.....	85
FIGURA 5.11 Boceto de la base para la lente TSEL.....	85
FIGURA 5.12. -a) Vista del subsistema de lente elástica con los actuadores, b) Vista del subsistema de luz con los actuadores.....	86
FIGURA 5.13-a) Acercamiento del subsistema de la lente, se observa el sistema de sujeción, b) Vista frontal del subsistema de la lente con los actuadores, c) Vista superior lateral del subsistema de lente elástica.....	87

FIGURA 5.14-a) Acercamiento del contacto entre actuadores y discos de ajuste, b) Vista lateral inferior del subsistema de lente, c) Acercamiento al diafragma de iris del subsistema de luz.....	88
FIGURA 5.15-a) Vista lateral superior del subsistema de luz, b) Acercamiento del soporte para los motores, c) Vista lateral del subsistema de lente.....	89
FIGURA 5.16-a) Acercamiento al sistema de sujeción de la lente TSEL, b) Vista lateral del subsistema de lente, c) Vista frontal del subsistema de lente con los actuadores.....	90
FIGURA 5.17-a) Acercamiento al diafragma de iris con la montura, b) Acercamiento al soporte de los motores, c) Vista lateral del subsistema de luz con los actuadores.....	91
FIGURA 5.18-a) Vista superior del subsistema de lente elástica, b) Vista lateral del subsistema de luz c) Acercamiento al ensamble de la base general con el soporte de la montura y el soporte de los motores.....	99
FIGURA 6.1. Propiedades del material PLA y PDMS Sylgard 184s.....	104
FIGURA 6.2-a) Acercamiento hacia el punto fijo de la lente, b) Corte lateral de la lente con fuerzas de tensión marcadas en púrpura.....	105
FIGURA 6.3. Vista Isométrica de las fuerzas aplicadas sobre las abrazaderas de la lente TSEL.....	105
FIGURA 6.4 Vista Isométrica del eslabón con la geometría y fuerzas aplicadas.....	106
FIGURA 6.5 Vista Isométrica de la manivela con la geometría fija y fuerzas aplicadas.....	106
FIGURA 6.6. Vista Isométrica de la base de la lente TSEL con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.....	106
FIGURA 6.7. Vista Isométrica del disco de ajuste de la lente TSEL con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.....	106
FIGURA 6.8. Ensamble de la base con el disco de ajuste con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.....	107
FIGURA 6.9 Mallado de las piezas.....	107
FIGURA 6.10-a) Desplazamientos aplicados sobre la lente TSEL, b) Esfuerzos aplicados a la lente TSEL.....	108
FIGURA 6.11 -a) Desplazamientos aplicados sobre el eslabón, b) Tensiones aplicadas sobre el eslabón, c) Desplazamientos aplicados sobre la manivela, d) Tensiones aplicadas sobre la manivela.....	109
FIGURA 6.12 -a) Desplazamientos aplicados sobre la base de la lente TSEL, b) Tensiones aplicadas sobre la base de la lente TSEL.....	110
FIGURA 6.13 -a) Desplazamientos aplicados sobre el disco de ajuste, b) Tensiones aplicadas sobre el disco de ajuste.....	110
FIGURA 6.14- (a Tensiones aplicadas sobre el ensamble del subsistema de luz,) b Desplazamientos aplicados sobre el ensamble del subsistema de luz.....	111
FIGURA 6.15 Desplazamientos aplicados sobre el primer modelo de la lente TSEL.....	111
FIGURA 6.16 Desplazamientos aplicados sobre el modelo rediseñado de la lente TSEL.....	111
FIGURA 6.17 Molde anterior (superior), molde actual (Inferior).....	112
FIGURA 6.18 Vista lateral del molde cerrado.....	112
FIGURA 6.19 Herramientas para la fabricación de la lente elástica.....	113
FIGURA 6.20 Balanza OHARUS®.....	113
FIGURA 6.21 Horno eléctrico.....	113
FIGURA 6.22 Lente experimental de PDMS.....	114
FIGURA 6.23-a) Proceso de extrusión de material, b) Rollo de Filamento de PLA.....	115
FIGURA 6.24-a) Ensamble del subsistema de lente elástica, b) Ensamble del subsistema de luz.....	115
FIGURA 6.25 Imágenes tomadas de ambos prototipos en donde se aprecia el cambio de longitud transversal de barras de resolución de un blanco colocado a una cierta distancia. a) Cuando se aplica un esfuerzo de tensión y b) cuando se aplica un esfuerzo de compresión sobre la lente.....	116
FIGURA 6.26 Lado Frontal del Prototipo Cero.....	119
FIGURA 6.27-a) Diafragma de Iris cerrado, b) Diafragma de Iris abierto.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Análisis FODA	7
TABLA 2. Declaración de la misión	10
TABLA 3. Análisis preliminar	12
TABLA 2.1 Parámetros de Calidad.....	27
TABLA 2.2 Desviaciones de acuerdo a la calidad	27
TABLA 2.3 Tareas DEEPAND	29
TABLA 2.4 Materiales de impresión.....	32
TABLA 3.1 Perfil del usuario.....	39
TABLA 3.2 Enunciado del cliente.....	40
TABLA 3.3 Necesidades de Usuario	41
TABLA 3.4 Nivel de importancia.....	41
TABLA 3.5 Relación de métricas con necesidades del usuario	42
TABLA 3.6 Matriz de relación; primera casa de la calidad	43
TABLA 3.7 Matriz de comparación de métricas.....	44
TABLA 3.8 Especificaciones del objetivo.....	45
TABLA 3.9 Clasificación de motores eléctricos	49
TABLA 3.10 Clasificación de engranes.....	50
TABLA 3.11 Mecanismos de transformación de movimiento.....	51
TABLA 3.12 Mecanismos de regulación de luz.....	52
TABLA 3.13 Mecanismos de aplicación de fuerzas lineales	53
TABLA 3.14 Comparativa entre materiales de impresión.....	56
TABLA 3.15 Propiedades térmicas de los materiales.....	56
TABLA 4.1 Nomenclatura e isométrico de piezas	62
TABLA 4.2 Valores de comparación para la matriz	64
TABLA 4.3 Matriz de ponderación.....	65
TABLA 4.4 Porcentajes obtenidos	65
TABLA 4.5 Piezas con menor valor de ponderación	66
TABLA 4.6 Descripción de las piezas.	67
TABLA 4.7 Piezas del subsistema de luz	68
TABLA 4.8 Piezas del subsistema de lente elástica	68
TABLA 4.9 Valores del funcionamiento del subsistema de luz	69
TABLA 4.10 Valores del funcionamiento del subsistema de lente elástica.....	70
TABLA 4.11 Conclusiones de Sistema de Luz.....	70
TABLA 4.12 Conclusiones de Sistema de lente elástica	71
TABLA 4.13 Descripción de modificaciones y objetivos al subsistema de lente elástica	74
TABLA 4.14 Ventajas y desventajas de las composiciones del subsistema de luz	76
TABLA 5.1 Propuesta 1, Subsistema de Lente elástica.....	87
TABLA 5.2 Propuesta 1, Subsistema de Luz	88
TABLA 5.3 Propuesta 2, Subsistema de Lente elástica.....	90
TABLA 5.4 Propuesta 2, Subsistema de Luz.....	91
TABLA 5.5 Criterios y valores.....	93
TABLA 5.6 Rúbrica de Evaluación.....	94
TABLA 5.7 Piezas Generales	95
TABLA 5.8 Subsistema de luz.....	96
TABLA 5.9 Subsistema de lente	97
TABLA 6.1 Tolerancia de las piezas del modelo optomecánico.....	114
TABLA 6.2 Comparación de métricas de modelos optomecánicos.....	116
TABLA 6.3 Comparación de cambios de longitud transversal	118

CAPÍTULO 1

1.0

PRELIMINARES

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la construcción y apropiación de la palabra *Diseño* se ha referido a la creación individual, original y única de un producto que no se ha visto influenciado por terceros (Ortega, 2016). Sin embargo, un diseño nunca finaliza ni puede convertirse en la solución definitiva ya que el proceso creativo se caracteriza por cambios, mejoras y nuevas combinaciones de soluciones ya existentes.

En otras palabras, cada vez que diseñas, rediseñas, se aporta un nuevo significado, se crea un diseño que recoge las contribuciones anteriores para generar una nueva solución inteligente, colectiva y acumulativa. (Ortega, 2016).

El área de óptica se enfoca al estudio del comportamiento del ojo humano y dependiendo el enfoque con el que se estudia se realiza el enfoque necesario. Los trabajos más comunes se centran en el comportamiento de la luz por medio de modelos del ojo humano simplificados y se encuentran las bases del diseño óptico en la formación de la imagen, el control electrónico, la construcción de sistemas optomecánicos, entre otros. Este último se compone mediante el uso de elementos optomecánicos que son muy recurrentes debido al avance de la tecnología, tal como se puede observar en el diseño de sistemas ópticos y modelos de ojos artificiales.

Así pues, algunas de las diferentes propuestas de modelos del ojo humano son analizadas dentro de este documento para conocer sus posibles ventajas o prestaciones.

En este proyecto que a continuación se presenta, se toma el diseño de un modelo experimental optomecánico, que llamaremos "Prototipo cero", el cual está enfocado a la reproducción de características del ojo, específicamente, la función de acomodación y la función de regulación automática de la luz. No obstante, este modelo presenta un desempeño carente que limita la representación de las funciones mencionadas

Es importante contar con un modelo del ojo artificial que sirva para extender el estudio del funcionamiento del ojo humano mediante un desempeño óptimo, que reproduzca dichas características conforme al modelo teórico, además de ser accesible y fácil de construir.

II. ANTECEDENTES

El ojo humano es uno de los órganos con mayor complejidad cuya función básica es detectar la luz reflejada por los objetos de un entorno y transformar esta energía lumínica en señales eléctricas para posteriormente enviarlas al cerebro y ser procesadas por este. Para lograrlo, el ojo precisa de una lente ajustable denominada cristalino que es capaz de enfocar objetos a diferentes distancias mediante la tensión y compresión de los músculos ciliares (músculos de tipo radial que sostienen al cristalino), un “diafragma” llamado pupila cuyo diámetro es regulado por el iris y, por último, un tejido fotosensible responsable de adquirir las imágenes del mundo exterior que es la retina. (Starr, Taggart, Evers, & Starr, 2009).

El ojo humano visto como un sistema óptico está compuesto por dos medios ópticos, un diafragma de abertura, un detector y dos lentes. La primera lente se conoce como córnea y se considera rígida, es decir, mantiene su forma, tamaño y espesor; la segunda lente se denomina cristalino y presenta una longitud focal variable.

Este proceso se conoce como sistema óptico ocular el cual constituye el funcionamiento del ojo humano. El sistema se desempeña por medio de los principios de formación de imagen los cuáles resultan ser los mismos que los de un sistema óptico convencional en donde se estudian las propiedades básicas de estos principios. (Puell Marín, 2014)

De esta forma, diversos sistemas ópticos que integran modelos mecánicos de movimientos oculares se han construido y estudiado a través del tiempo para entender y simular el funcionamiento del ojo humano. Avances recientes en la investigación proponen modelos que integran componentes similares a las presentes en el ojo humano, estas han evolucionado en el siglo XXI cuando se comienzan a fabricar modelos que exhiben un enorme potencial para aplicaciones que van desde las ciencias médicas hasta aplicaciones industriales (Ki-Hun Jeong, 2006); los modelos son elaborados a base de nuevos polímeros, micro lentes, microcontroladores, electrónica avanzada y componentes ópticos miniaturizados.

En años recientes se han fabricado distintos sistemas ópticos a nivel mundial y modelos que abarcan distintos tipos de mecanismos como los mostrados a continuación:

“Lente polimérica sintética bioinspirada en una lente de ojo humano GRIN”. (JI, et. al. 2012). Diseñada en base a la arquitectura de los componentes del ojo humano (Fig. 1). La técnica de fabricación está basada en una película de polímero de nano capas y se realiza utilizando software de diseño óptico con la finalidad de obtener imágenes claras.

“Sistema de imágenes sintonizable miniaturizado inspirado por el ojo humano” (Fig. 2). Este sistema de imagen compacto se basa en el uso de la combinación entre lentes y aberturas sintonizables. En el trabajo de Hans Zappe (2013) se puede observar el uso de lentes eléctricamente sintonizables con elastómeros dieléctricos.

“Lente sintonizable bioinspirada “(Fig.3). Este mecanismo está inspirado en el cristalino considerada por el autor como clases emergentes de “músculos artificiales”. Las lentes consisten en mecanismo elastomérico sintonizable lleno de líquido, en este caso de esta integrada con un elastómero con forma anular actuado que funciona como un músculo artificial. (Capi, Frediani, Turco, & De Rossi, 2011).



Fig. 1. Imágenes de las lentes GRIN esféricas bioinspiradas del ojo humano anterior y posterior. [Imagen tomada de, (JI, et. al., 2012)]

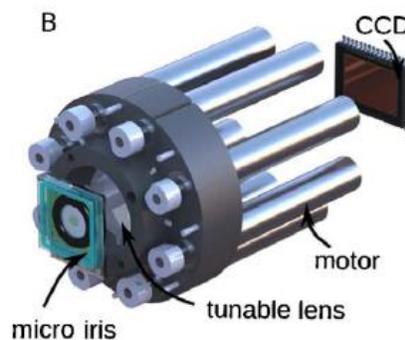


Fig.2 Sistema, que muestra el micro-iris, lente ajustable y CCD. [Imagen tomada de, (Schuhladen, Petsch, Liebertraut, Müller, & Zappe, 2013)]



Fig. 3 Vista de sección del dispositivo que muestra una lente llena con fluido rodeada por un actuador de músculo artificial. [Imagen tomada de, (Capri, Frediani, Turco & De Rossi, 2011)]

Simultáneamente, algunos de los avances en la investigación sobre mecanismos para sistemas ópticos en México se han enfocado en el desarrollo de lentes sintonizables, como es el caso de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. En el trabajo de (Santiago-Alvarado, y otros, 2015) se menciona que este tipo de lentes tiene la capacidad de reducir el tamaño del sistema en general haciéndolos ligeros, compactos y más simples al sustituir componentes usados en sistemas ópticos tradicionales, de igual forma tiene potenciales aplicaciones en áreas como visión artificial, oftalmología, microscopía, lentes y cámaras fotográficas. De manera general, en este trabajo se observa el proceso de elaboración de una lente sintonizable sostenida por una montura mecánica.

Lente sólida elástica sintonizable (TSEL por sus siglas en inglés): Una TSEL es un elemento óptico sujeto por una montura mecánica que, a base de un sistema de mordazas incrustadas en el cuerpo de la lente, le es aplicado un esfuerzo radial sobre la superficie. De manera conveniente la lente es diseñada y elaborada con un polímero llamado polidimetilsiloxano (PDMS, por sus siglas en inglés) que, una vez generada la geometría, puede ser estirada y comprimida cuando una fuerza radial es aplicada sobre ella. Las fuerzas de tensión y/o compresión generadas sobre la lente introducen un cambio en la curvatura de las superficies de la lente, haciendo que cambie su distancia focal y a su vez pueda enfocar objetos a diferentes distancias.

En esta misma dirección, en el trabajo realizado por (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015) se describe el diseño y la elaboración de un sistema óptico basado en el desarrollo de diversos mecanismos que en conjunto conforman lo que se denomina como un modelo optomecánico. El principio funcional de este modelo es simular el desempeño óptico del ojo humano basándose en dos funciones principales, la primera se denomina por la ciencia como “Función de acomodación” realizada por el cristalino del ojo humano mediante la aplicación de esfuerzos controlados; la segunda se basa en la función del iris el cual regula la cantidad de luz que pasa hacia la retina a través de la pupila y se conoce como “Regulación de entrada de luz”.

En principio, los mecanismos con los que cuenta este modelo optomecánico abarcan desde el diseño y elaboración de una TSEL junto con un sistema de montura mecánica (que incluye dispositivos para la realización de las funciones mencionadas anteriormente), además de la caracterización mecánica de la TSEL por medio de un software comercial de elemento finito y por último pruebas de funcionalidad del modelo.

Este proyecto resalta la importancia de rediseñar el prototipo cero que, como primera instancia, tiene el propósito de incidir en los avances de investigación en el área de óptica visual para contribuir en el tratamiento de enfermedades ópticas, en el comportamiento y en la comprensión del funcionamiento de un órgano tan complejo como lo es el ojo humano, para consecutivamente tener un impacto o influencia en áreas de mayor alcance como visión robótica y experimentación.

Para que este modelo optomecánico pueda incurrir en estas áreas, es necesario optimizarlo y fabricar un diseño funcional puesto que, cuando se introduce un número considerable de mecanismos que funcionen para un fin en común, es necesario analizar el comportamiento individual y general del sistema optomecánico para así determinar si se cumplen los requisitos de desempeño que efectúen el propósito del mismo.

De esta forma, se desarrolló un análisis FODA, mostrado en la tabla #1, que permitió tomar puntos de referencia para comenzar con el rediseño del prototipo cero.

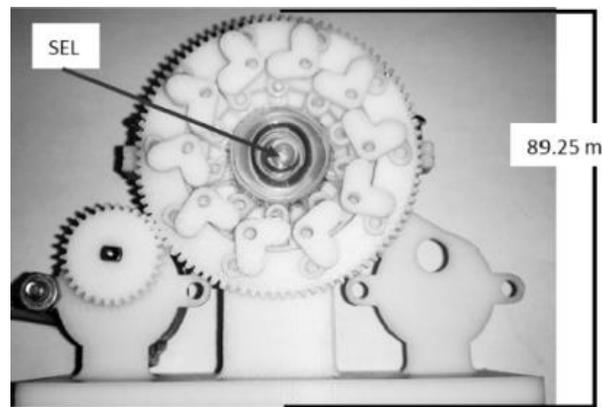


Fig. 4 Prototipo Cero Optomecánico, [Imagen tomada de, (Cruz-Félix, Santiago-Alvarado, Hernández-Mendez, Reyes-Perez, 2016)]

Tabla 1. Análisis FODA			
Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Las funciones del prototipo cero.	La función de la mayoría de piezas que conforman el modelo fueron manufacturadas para este fin.	Las funciones no se desempeñan correctamente debido a errores en la geometría de las piezas.	Las funciones deberán ser de ser replanteadas.
El material con el que se fabricó el modelo es ABS.	Este material pertenece a la familia de los termoplásticos y existen más materiales similares a este.	El número de componentes es elevado lo que aumenta el costo de reposición.	Se deberán reducir los componentes y buscar más materiales.

El sistema de engranes en la montura realiza el movimiento esperado (Torsión- Compresión).	Existen diversos tipos de mecanismos que pueden desempeñar este tipo de movimientos.	Las funciones no pueden ser desempeñadas correctamente debido a la falta de tolerancia en las piezas.	Fabricar un mecanismo nuevo.
El tamaño del modelo influye en la manipulación y estética del mismo.	Contar con las dimensiones adecuadas permite un mejor manejo del sistema	Las dimensiones actuales dificultan el manejo y alineación con otros instrumentos optomecánicos.	Redimensionar el mecanismo a nivel general.
Primer modelo elaborado para fines de bajo costo.	Posible mercado internacional. Integrar componentes optomecánicos	Componentes optomecánicos de precios elevados.	Integrar piezas que requieran de un costo mayor.

III. PLANTEAMIENTO DEL TEMA

Este proyecto tiene como propósito rediseñar el prototipo cero, diseñado y manufacturado por el cuerpo de óptica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca; utilizando las bases de un Ingeniero en Diseño, modificando el producto existente con la experiencia en ingeniería, se toman en cuenta aspectos estéticos, seguridad y facilidad de manipulación, así mismo se asegura que el producto pueda ser sencillo y funcional.

Fundamentalmente, el modelo desarrollado por A. Santiago-Alvarado (2015) pretende simular la función de autoenfoque y la función de regulación automática de la luz a través de una TSEL elaborada con PDMS (Sylgard 184, proporcionado por Dow Corning) presente en el ojo humano, en conjunto con monturas mecánicas apoyadas por componentes que aplican fuerzas radiales de manera homogénea sobre el material elástico en tiempo real.

Dentro de este marco de investigación se consideran las funciones que el prototipo cero debe de representar. La primera se conoce como “Función de Acomodación”, es el proceso en el que el cristalino permite al ojo enfocar objetos cercanos; este fenómeno se produce debido a que, en su estado relajado, el ojo está preparado para enfocar objetos lejanos. La segunda se denomina “Función de Regulación Automática de la luz”, la cual está representada por la pupila, y que actúa a modo de diafragma, regulando la cantidad de luz que entra en el ojo y mejorando la calidad de la imagen que se forma en la retina. (Leon-Sarmiento, Prada, & Gutierrez, 2008)

Una vez descritas estas funciones de manera general, y de acuerdo con el diseño ingenieril optomecánico, se propone mantener las formas y posiciones adecuadas de los elementos funcionales del sistema óptico para que los requerimientos del desempeño del mismo sean satisfactorios.

Para este caso de trabajo, se examina el prototipo cero y se identifican las necesidades del rediseño, tales como la geometría de partes, las tolerancias, el acabado de superficies, el agrupamiento de partes y las técnicas de ensamble que actualmente limitan la cantidad de procesos de manufactura que pueden usarse para hacer la montura que integra al sistema optomecánico desarrollado por el cuerpo académico de Óptica Aplicada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Sin embargo, la implementación de la montura optomecánica en el sistema consta de muchos componentes, debido a la utilización de engranes y diversas piezas que no facilitan la manipulación ni mejoran el desempeño del mecanismo. El uso de estos componentes en el sistema es de suma importancia, ya que provee fijación, alineamiento y posicionamiento a la lente de PDMS para poder obtener imágenes de forma definida, además de ejecutar satisfactoriamente el movimiento de tensión-compresión y control de apertura-cierre del diafragma al accionar los motores de paso.

Cabe destacar que este optomecanismo cuenta con dos lados que trabajan de manera independiente, cada uno cuenta con un motor a pasos y control electrónico específico de acuerdo a la función que cumplen. Actualmente, no se cuenta con un sistema de características similares a nivel nacional y de costo accesible, que pueda realizar de manera eficiente estas funciones.

En base a los antecedentes del diseño mecánico y óptico, referentes a la impresión en 3D del prototipo cero, y las superficies refractivas hechas de PDMS, es necesario establecer la declaración de la misión para resumir los requerimientos generales del cliente y posteriormente, un análisis preliminar del prototipo.

Como resultado, se espera que cuando se tenga un modelo optomecánico en tercera dimensión, con ayuda del Análisis de Elementos Finitos a través de un software, se realicen pruebas mecánicas previas a la construcción física del modelo para posteriormente ser evaluado en conjunto con los actuadores.

De esta forma se realiza la declaración de la misión del proyecto en la siguiente tabla.

Tabla2. Declaración de la misión "Rediseño de componentes optomecánicos para aplicaciones en ciencias visuales."	
Descripción del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo optomecánico que simula la función de autoenfoco y la función de regulación automática de la luz a través de una TTSEL elaborada con PDMS.
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir tamaño para adaptarla a distintos tipos de tareas. • Técnicas de ensamble y reducción de tamaño de piezas. • Diafragma comercial para la reducción de número de piezas.
Objetivo General	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseñar un sistema optomecánico que mantenga las formas y posiciones adecuadas de los elementos para que sea capaz de realizar la función de acomodación y la función de regulación automática de luz, por medio del análisis mecánico, para que los requerimientos del desempeño del sistema sean satisfactorios para uso de investigación en el área de óptica visual.
Mercado primario	<ul style="list-style-type: none"> • Profesores investigadores del área de Física y Óptica.
Mercado secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Investigadores en física y óptica de la visión en otras universidades de México y el mundo.
Suposiciones	<ul style="list-style-type: none"> • Debe de ser más compacto y presentar menos piezas. • El diseño de la lente debe de apegarse lo más que se pueda al diseño original. • La lente de PDMS deberá sustituirse fácilmente cuando sea necesario. • En la representación de la función de regulación automática de luz se deberá minimizar el uso de componentes.
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros en Diseño. • Ingenieros en Mecatrónica. • Ingenieros en Física y Óptica. • Personal de manufactura. • Proveedores.

IV. PROBLEMAS A RESOLVER

Durante el periodo de pruebas realizadas con el prototipo cero se encontraron una serie de problemas funcionales y mecánicos. En el presente trabajo de tesis se analizan las piezas y funciones de este diseño, por consiguiente, se rediseña la montura que incluye el subsistema de lente y subsistema de luz con el propósito de alcanzar un funcionamiento óptimo del sistema.

Este trabajo se centra en representar dos funciones principales del ojo humano (descritas de manera general en el apartado anterior) para la obtención de imágenes:

- ⇒ **Función de Acomodación.** La relajación del músculo ciliar ocasiona un cambio de forma en el cristalino aumentando su convexidad y haciéndolo más esférico, de esta manera se logra enfocar objetos más cercanos. Por otro lado, la dilatación del músculo aumenta la tensión lo que provoca que el cristalino se aplane disminuyendo su convexidad y por consiguiente enfoca objetos más lejanos. Esta función está representada en el modelo optomecánico existente por una lente TSEL elaborada de PDMS, un mecanismo de tensión-compresión activado por un motor a pasos y compuesto por matrices de mordazas, eslabones y manivelas.
- ⇒ **Función de regulación automática de entrada de luz.** Esta parte del ojo humano se comporta como un mecanismo de diafragma regulando la cantidad de luz que ingresa a este órgano: con mucha luz se hace pequeña y con poca luz se agranda. Esta función es representada en el modelo optomecánico por medio de un mecanismo de cierre-apertura activado por un motor a pasos y compuesto por matrices de aletas, eslabones, manivelas y mordazas.

Situación actual del modelo optomecánico:

El modelo optomecánico actual presenta problemas en las funciones que se tienen que representar y en las piezas que componen el modelo optomecánico. Los principales factores relacionados con estos dos problemas se determinaron con la realización de un análisis FODA elaborado en los antecedentes de este trabajo.

Con el fin de entender cómo el diseño del modelo existente repercute sobre el actual desempeño de las funciones del mismo, se realiza la siguiente tabla que proporciona una visión general de los resultados

obtenidos mediante la ejecución de un análisis preliminar del modelo en donde se presentan los problemas a resolver, las desventajas y posibles soluciones del problema:

Tabla 3. Análisis preliminar		
Problema	Desventaja	Posible solución
Dimensión del sistema	El tamaño del sistema dificulta el manejo del mismo. Si se reduce en exceso las piezas podrían volverse más frágiles.	Se propone una reducción del sistema en un porcentaje de entre el 10% al 25% de su tamaño real.
Funciones a representar	Las piezas que conforman el modelo optomecánico están diseñadas para cumplir con las funciones indicadas, sin embargo, al ensamblar todas las piezas las funciones no se desempeñan adecuadamente.	Realizar un análisis funcional para determinar las funciones primarias y secundarias para determinar cuáles son los errores.
Tolerancia de fabricación de las piezas	El intervalo de valores de tolerancia en las piezas no se establece correctamente, ya que se superan los valores máximos y mínimos.	Establecer tolerancias adecuadas basadas en el establecimiento de valores máximos y mínimos para que las piezas puedan ajustarse sin problemas al momento de ensamblar el optomecanismo.
Número de piezas	La cantidad actual de piezas hace que el sistema sea elaborado y no rentable cuando se refiere a la reposición de piezas.	Realizar un análisis de cada pieza que conforme al mecanismo optomecánico para determinar cuáles son necesarias y cuáles pueden ser removidas o rediseñadas de manera compacta y óptima.
Subsistema de lente elástica	Esta función es representada por una lente TSEL de PDMS, la lente no presenta la deformación adecuada en ambas superficies para alcanzar el rango de distancias focales necesarias y requeridas por el usuario.	Realizar un análisis de la lente y posteriormente rediseñar los parámetros de la lente que se encuentren necesarios, modificando tamaño, forma o diámetro y sistema de sujeción (mordazas).
Subsistema de luz	El subsistema de luz está representado mediante modelado 3D, sin embargo, en el prototipo físico las piezas son inexistentes por lo tanto la función de regulación no está presente en el modelo.	Adquisición de un diafragma comercial para realizar la función de regulación automática de luz.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis preliminar del modelo optomecánico podemos establecer cinco problemas puntuales a resolver:

1. Dimensión del sistema.

Reducir el tamaño del modelo optomecánico ayudaría al manejo del mismo y facilitaría el montaje, sin embargo, debido al método de fabricación (técnica FDM) existen limitaciones de tamaño y resistencia. Se propone manejar una escala de reducción del 10% al 25% de su tamaño original.

2. Funciones a representar.

Como todo mecanismo, el funcionamiento del prototipo cero se ejecuta gracias al conjunto de varias piezas, si alguna de estas presenta un defecto en su diseño o montaje, el desempeño de todo el modelo fallará. En consecuencia, se deben de evaluar las piezas que integran el mecanismo de forma individual, para posteriormente hacer una selección rigurosa y determinar cuáles de las piezas se mantiene, se eliminan o se rediseñan.

3. Tolerancia de piezas.

La tolerancia dimensional se aplica a la fabricación de piezas, el margen de tolerancia es el intervalo de valores máximos o mínimos, en el que debe encontrarse dicha magnitud para que en el momento de ensamblar las piezas puedan ajustarse sin problemas. Si se supera el valor máximo o el mínimo, entonces resultará imposible ensamblar el eje dentro del orificio, por lo que se dirá que el mecánico se ha pasado del valor de tolerancia.

4. Función aplicación de esfuerzo homogéneo sobre la lente (tensión-compresión). (Subsistema de lente TSEL)

El elemento principal de esta función es la lente sólida elástica elaborada de Polidimetilsiloxano (Sylgard 184 de Dow Corning) y como consecuencia la elaboración de este elemento es determinante para el funcionamiento del modelo. Se debe evaluar previamente para rediseñar el modelo ya existente de esta lente.

5. Función regulación de entrada de luz al sistema (Pupila de entrada). (Subsistema de luz).

El segundo elemento principal del sistema tiene que ver con el mecanismo para regular la cantidad de luz que ingresa al mismo. De igual forma, se debe de evaluar previamente para realizar el rediseño. Se pretende utilizar componentes estándar disponibles comercialmente.

Como resultado se espera que al abordar estas variables se cree y desarrolle el concepto del sistema optomecánico de visión artificial adaptativa.

V. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar un sistema optomecánico que mantenga la geometría y posiciones de los elementos, que sea capaz de realizar la función de acomodación y la función de regulación automática de luz, satisfaciendo los requerimientos del desempeño del sistema para uso de investigación en el área de óptica visual.

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS

1. Analizar los componentes optomecánicos que integran el sistema de (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015), investigación de nuevos mecanismos y monturas.

1.1 Informe de deficiencias del sistema.

1.2 Análisis geométrico del sistema optomecánico (Tablas de ponderación para evaluación de piezas funcionales del sistema.)

1.3 Análisis de funciones del sistema optomecánico (Tablas de clasificación de funciones).

1.3 Registro de información recopilada por análisis geométrico y funcional.

1.4 Registro de información del desempeño óptico del prototipo cero.

2. Generación de conceptos utilizando herramientas creativas.

2.1 Uso de la metodología de (Ulrich & Eppinger, 2013) para la elaboración de tres propuestas del subsistema de luz.

2.2 Bocetos de rediseño de componentes del sistema.

2.3 Selección de propuesta utilizando el despliegue de la casa de la calidad.

3. Desarrollar la conceptualización del sistema.

3.1 Elaboración de 2 propuestas.

3.2 Modelado CAD.

3.3 Análisis y desarrollo de componentes en software comercial de elemento finito.

3.4 Manufactura de piezas.

3.5 Construcción del prototipo.

3.6 Integración de los módulos de control electrónico y actuadores.

4. Probar el modelo optomecánico

4.1 Análisis mecánico estático del principio de operación del mecanismo utilizando el software comercial Solidworks®.

4.2 Pruebas de funcionalidad.

VII. JUSTIFICACIÓN

La ingeniería en diseño, es una disciplina que está en medio del arte, la ciencia, y la tecnología y utiliza herramientas de los tres aspectos, fusionándolos en un sistema (Barrero, 2006) También, es una herramienta que estimula la innovación y permite desarrollar nuevos procesos productivos y tecnológicos; tiene como objetivo la realización de productos definidos que generen una interacción natural entre objeto-usuario o que el aprendizaje de estos sea lo más fácil y práctico posible, de modo que cada objeto o elemento que nos rodea sea el resultado de un estudio completo derivado de muchos aspectos del diseño.

El presente trabajo involucra los conocimientos básicos del ojo humano y la formación académica de un Ingeniero en Diseño para realizar el rediseño y manufactura de un nuevo modelo optomecánico (Modelo optomecánico 2.1), mediante el cual se pretende demostrar que con los conceptos que enseña la ingeniería en diseño y con base en las habilidades creativas, procesos de ingeniería y metodologías del diseño, se pueden desarrollar sistemas ópticos con funciones mecánicas aplicados en el área de Física de la visión.

Después de evaluar los requerimientos y necesidades del cuerpo académico de Óptica, y bajo el concepto, el cual es rediseñar un modelo optomecánico funcional que mantenga las formas y posiciones adecuadas de los elementos para que sea capaz de realizar la función de acomodación, mediante la manipulación de una lente de tipo sólida elástica; y la función de regulación automática de luz.

Dicho modelo se hará solo con máquinas y herramientas que se encuentran dentro de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, esto con el fin de no generar costos adicionales de fabricación, únicamente la compra de los materiales y las piezas comerciales que se determinen. Este, no se mandará a fabricar y la mano de obra se puede realizar dentro de las instalaciones de la Universidad en los talleres de manufactura, laboratorio de posgrado, y laboratorio de física.

Es acertado realizar un modelo en 3D mediante un software, ya que tiene como ventaja principal el ahorro de tiempo y costos, debido a que el sistema se aproxima a las condiciones en las que se estará trabajando al momento de ser fabricado, dando como resultado un mejor análisis de las piezas para corregir de manera oportuna los posibles errores que podrán tener un gran impacto.

Por último, se hace énfasis en que la relevancia del proyecto recae en la importancia de tener un conocimiento más a fondo de la biomecánica que sucede en el ojo humano. Un modelo de este tipo representa un avance importante en el área de física de la visión y ciencias visuales, además coloca a nuestra Universidad como una de las pocas instituciones académicas en el mundo realizando este tipo de estudios beneficiando al cuerpo de óptica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

VIII. METODOLOGÍA

La metodología adoptada para la elaboración de este sistema se basa, en principio, en el proceso genérico del desarrollo de producto (Ulrich & Eppinger, 2013), ya que es la que mejor se adecua al tema en cuestión incluyendo otras metodologías más como el despliegue de la casa de la calidad, valor ponderado, etc. Se maneja de esta forma debido a que ninguna metodología es absoluta y se propone realizar los ajustes necesarios para que el tema en cuestión sea desarrollado de la mejor manera posible.

El enfoque metodológico principal, (Ulrich & Eppinger, 2013) está compuesto de seis fases principales; a continuación, se describe el objetivo principal de realizar cada una de ellas y lo que se necesita para elaborarlas:

FASE 1. PLANEACIÓN.

El objetivo principal de esta fase es establecer los requerimientos de diseño y recopilar información de los avances que se ha tenido en cuanto al sistema, así como también generar un concepto del nuevo modelo a realizar dándole solución a los problemas principales para llegar a la formación de un nuevo sistema. Una de las actividades de esta fase es comprender la necesidad de los componentes optomecánicos teniendo en cuenta el objetivo general.

FASE 2. DESARROLLO DE CONCEPTO

Se elige el concepto más apropiado para la elaboración de planos y modelos 3D de las propuestas.

FASE 3. DISEÑO A NIVEL SISTEMA

Se define la arquitectura del concepto elegido en la etapa anterior y el desglose de las modificaciones de los componentes.

FASE 4. DISEÑO A DETALLE

Se establecen características y dimensiones del sistema, simultáneamente se elabora el diseño del modelo en 3D utilizado para realizar pruebas por medio de un software de elemento finito.

FASE 5. PRUEBAS Y REFINAMIENTO

Esta etapa involucra el realizar evaluaciones del modelo optomecánico 2.1 y prototipo antes de ser manufacturado, esto implica realizar un análisis mecánico del modelo en 3D. La evaluación se ejecuta por medio de simulaciones y análisis de las componentes en software de elemento finito para evaluar su desempeño.

FASE 6. INICIO DE PRODUCCIÓN

Elaboración de piezas que componen el sistema, así como el montaje del Modelo optomecánico 2.1. Después de ser manufacturado y una vez que el módulo electrónico y los actuadores estén integrados, se ejecutan pruebas funcionales del nuevo modelo optomecánico para concluir con un reporte final del sistema.

2.0 MARCO TEÓRICO

2.0 MARCO TEÓRICO

2.1 Ingeniería en diseño

La ingeniería en Diseño se ha descrito generalmente como un poderoso enfoque para identificar y resolver problemas, es lo suficientemente flexible como para funcionar en casi cualquier situación. De igual forma, modifica productos existentes o procesos para mejorar la eficiencia o funcionamiento de un producto; (Clarkson & Huhtala, 2005), gestiona el conocimiento para comprender la captura, almacenamiento y vaciado de datos. Los ingenieros aprenden información importante sobre el problema y las posibles soluciones en cada fase del proceso de diseño.

Las herramientas de la ingeniería se combinan para generar un plan que cuando se ejecuta crea un producto final que sea *funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar*, sin importar el usuario. (G. Budynas & Keith Nisbett, 2008)

2.1.1 Diseño y Rediseño.

Si bien esta palabra es muy conocida, su significado va a diferir de acuerdo a la persona que lo defina ya que "diseño" puede abarcar una amplia gama de actividades desde el diseño como arte, el diseño como técnica de comunicación hasta el diseño como ciencia y tecnología. (Gilliam Scott, 1967)

Robert Gilliam Scott hace una referencia al cambio en el tiempo del significado de la palabra "Diseño", *"el antiguo diseño era un sustantivo: el centro de la atención era la idea de esquema, de lo cual el empapelado sería un ejemplo característico. El nuevo diseño es un verbo: denota una actividad que penetra en todas las fases de la vida contemporánea"* (Gilliam Scott, 1967, p.3)

Entonces tomando estas dos definiciones se puede decir que el diseño es la acción o actividad de esbozar, trazar, dibujar para concebir, inventar o idear. Si el plan de diseñar resulta en la creación de algo *físicamente real*, entonces el producto debe de ser funcional, seguro, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. (Gilliam Scott, 1967)

La ingeniería en diseño entonces se puede definir como el proceso de aplicar estas actividades para la generación de un objeto. En el libro de L. Norton, 2000, este término se define como *“El proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con detalles suficientes que permitan su realización (...) El diseño puede ser simple o enormemente complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático y puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia”*.

El concepto de rediseño tiene la ventaja de contener a la palabra diseño, es decir, se retiene la dimensión individual de la palabra diseño mientras que, mediante el prefijo re, enfatiza que el proceso individual creativo se caracteriza por los cambios, las mejoras y las nuevas combinaciones de soluciones ya existentes. El proceso de rediseño de un producto está hecho a base de contribuciones de diseñadores anteriores que el último diseñador adopta, hace propio y modifica.

El diseño en la práctica de ingeniería es un componente universal el cual requiere que de soluciones bien estructuradas. El ingeniero en diseño afronta continuamente el desafío de estructurar bien el problema incluso cuando éste no se encuentra en estas condiciones.

Para este proyecto se utiliza la palabra Rediseño atribuyéndole el mismo valor conceptual que la palabra Diseño, y se utilizan procesos que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones.

2.1.2 Ideación e invención.

En el contexto de este tema de investigación, existen conceptos muy importantes para la ejecución de las acciones y la obtención de las metas establecidas. En este sentido, se ha investigado mucho para explorar el fenómeno de “creatividad”, el término ha sido objeto de investigación de diversas áreas desde principios del siglo XX; la psicología y la pedagogía fueron las primeras disciplinas en estudiarlo. La creatividad es un proceso dinámico y una característica de los seres humanos por excelencia (Joachin Bolaños, 2016).

Se asume que la creatividad es la capacidad de producir algo nuevo; sin embargo, han surgido algunos desacuerdos debido a los distintos caminos que las investigaciones toman, dificultando una noción completa del concepto creatividad.

Gracias a la creatividad la sociedad, los individuos y las organizaciones han evolucionado y se han desarrollado por medio de diversas técnicas tales como un proceso creativo, la generación de ideas y lluvia de ideas.

El objetivo de la ideación es generar un gran número de ideas sin prestar atención a la calidad por el momento ya que posteriormente se pasará a una etapa de frustración, en donde todas las ideas ya se han agotado y se procede a la etapa de incubación que dará origen a la idea obvia y correcta para la resolución del problema.

2.2 Diseño Mecánico

Desde el principio de la historia el hombre ha ideado máquinas y mecanismos, los antecedentes del estudio y desarrollo de éstos se remontan a la segunda mitad del siglo XIX y su evolución se debe a las contribuciones realizadas por muchas personas a lo largo de la historia. Los antiguos egipcios inventaron las máquinas necesarias para la construcción de pirámides y monumentos, usaron la palanca, el plano inclinado y el rodillo de tronco. (L. Norton, 2000)

Se considera como *mecanismo* al dispositivo que transforma el movimiento de un modo predeterminado desarrollando fuerzas de muy baja intensidad y poca potencia. Llamaremos *máquina* al conjunto de mecanismos y sistemas capaces de desarrollar movimiento y energía. (L. Norton, 2000)

Los mecanismos forman parte de un conjunto infinito de herramientas que se crearon con fines específicos, pero con el paso del tiempo fueron adaptándose y formando parte del mundo contemporáneo.

Cualquier máquina o dispositivo que se mueve contiene uno o más elementos cinemáticos, es decir, engranes, bandas, eslabones, etc. para llegar a crear un dispositivo es necesario tener un proceso de diseño, la ingeniería en diseño que se aplica en este proceso abarca tres actividades principales: diseño, invención y creatividad. Además de los conceptos antes descritos, en las secciones posteriores se aborda una breve revisión de nociones básicas necesarias para la comprensión de este tema de investigación.

2.2.1 Fundamentos del Diseño Mecánico.

Puede observarse, y debe destacarse, que el Diseño es un proceso iterativo en el cuál se procede a través de varios pasos; de acuerdo con la literatura de (G. Budynas & Keith Nisbett, 2008) se encuentran cuatro fundamentos del diseño mecánico:

Introducción al diseño en la Ingeniería Mecánica.

1.1 Esfuerzo y Resistencia. Indica cómo se ajusta el esfuerzo inducido por la carga sobre el cuerpo para que la resistencia sea menor en un punto de interés.

1.2 Incertidumbre. Se toman en cuenta incertidumbres concernientes al esfuerzo y resistencia del elemento.

1.3 Dimensiones y tolerancias. Para un diseño de elementos adecuado se debe de tener un sistema de tolerancia absoluto, así como se debe conocer el tipo de tolerancias que existen y cómo aplican en el diseño.

1.4 Especificaciones de estudio de transmisión de potencia. Introducir el problema con definición y especificación el producto que debe diseñarse.

Materiales.

La selección de un material para la construcción de un mecanismo se debe de tomar antes de establecer las dimensiones de la parte y después de seleccionar la geometría deseada.

Análisis de Carga y Esfuerzo.

Todos los componentes de una máquina transmiten fuerzas y movimiento de un punto a otro. La transmisión de fuerza, se entiende como un flujo de distribución de fuerzas que deben de ser consideradas para todas las superficies posibles en un punto.

Deflexión y Rigidez.

Sostiene que todos los cuerpos reales se deforman bajo la aplicación de una carga elástica o plástica.

2.3 Principios de Diseño Optomecánico.

Estos principios se enfocan a la parte de la ingeniería óptica relacionada con el mantenimiento de la forma y posición de las superficies de un sistema óptico. (Willey & Parks, 1999)

Diseño Estructural

Asegurarse de mantener la posición de los componentes ópticos entre sí dentro de las tolerancias de diseño para soportar la estructura de un sistema óptico.

Diseño Cinemático

Es deseable sostener los componentes ópticos de una manera repetible y en condiciones de bajo estrés, por lo que se utilizan métodos cinemáticos para proporcionar un montaje preciso.

Atermalización

La variación de temperatura introduce distorsión en los elementos ópticos debido al material, a la forma de montaje y en la estructura causando una pérdida de alineamiento óptico.

Control de Vibración

La vibración, dentro de un sistema óptico, es una fuente de degradación en su desempeño debido a que introduce desenfoque en el sistema y es necesario corregirla.

2.4 Normas de Dibujo Técnico

El propósito de utilizar normas se basa en lograr uniformidad, eficiencia y calidad especificadas para la presentación y el diseño de cualquier elemento. Estas normas abarcan cosas como el sistema de numeración, tamaño de papel, notas, dimensiones geométricas y tolerancias, símbolos, etc. Así mismo incluyen las medidas métricas y en pulgadas en conjunto con los estándares para el dibujo asistido por computadora.

Norma ISO. Se utiliza la Norma ISO y la Norma Oficial Mexicana (NOM-Z-3-1986) para dibujo técnico, que establece un orden en el sistema de acotaciones, elemento, dimensiones, especificaciones, tolerancias, etc. Aplicable a todo tipo de planos técnicos (Mecánicos o arquitectónicos), en donde se seguirán los principios generales mencionados anteriormente para facilitar el intercambio internacional de planos en campos técnicos. (ISO, 2019)

2.5 Tolerancia de fabricación

Para que un conjunto mecánico funcione correctamente la relación entre las distintas piezas tiene que ser correcta. Teóricamente, sería necesario que los elementos tuvieran exactamente las mismas dimensiones. En la práctica esto no es posible porque la fabricación de las piezas no alcanza una precisión absoluta en las dimensiones. (Grupo Tecnología Mecánica, 2018)

Las diferencias entre las dimensiones de las piezas fabricadas al momento de ser ensambladas se deben a muchos factores, en el caso de este proyecto y debido a la técnica de manufactura que se utiliza (FDM), se crea discrepancia debido a la dilatación o deformación de los componentes como consecuencia de las temperaturas a las que se expone el material en la impresión 3D.

Además, todas las piezas, en caso de desgaste o rotura, deben de poder sustituirse por otras de fabricación normalizada, considerando que esta sustitución pueda efectuarse lejos del lugar de fabricación original. Esto se conoce como el Principio de intercambiabilidad.

Para cumplir con este principio surgen los siguientes el concepto de tolerancia aplicado a los procesos de fabricación definido por (Campos, 2014):

- **Tolerancias dimensionales:** Indica el intervalo de valores dentro del cual se debe de encontrar la medida real del elemento geométrico de la pieza. El valor se determina mediante una desviación superior (D_s/d_s) y una inferior (D_I/d_i). La nomenclatura en mayúscula de estas desviaciones se refiere a un agujero y para el eje se utilizan las letras en minúsculas.
- **Eje (Pieza exterior):** Pieza de forma cilíndrica o prismática que debe ser acoplada dentro de otra que envuelve a una o más piezas.
- **Agujero (Pieza interior):** Es el alojamiento del eje y está envuelta por una o más piezas.
- **Ajuste:** Es la relación entre dos piezas correspondientes, las cuales se encajan o se adaptan en otra; se denomina ajuste con juego cuando el eje < agujero y ajuste con aprieto cuando el eje > agujero antes de ser ensamblados.

De acuerdo con (Murillo Jaenes, 2017) definen tres perfiles calidad en la fabricación de las piezas por técnica de deposición de filamento, en la primera tabla () se definen los parámetros utilizados para designar estos tipos de calidades y en la segunda tabla () se especifican los valores de desviación.

Parámetro	Rápido	Calidad Estándar	Alta Calidad
Altura de capa	0.3mm	0.2mm	0.15mm
Velocidad de impresión	55 mm/s	45 mm/s	35 mm/s
Velocidad de relleno	55 mm/s	45 mm/s	35 mm/s
Velocidad del fondo y de la tapa	55 mm/s	45 mm/s	35 mm/s
Velocidad del perímetro exterior de la pared	55 mm/s	45 mm/s	35 mm/s
Velocidad del perímetro interior de la pared	55 mm/s	45 mm/s	35 mm/s

Zona	Tipo de Desviación	Tipo de Perfil		
		Rápido	Estándar	Alta Calidad
Cuadrado interior	Máxima	+1,00	+0,70	+0,70
	Mínima	+0,30	+0,00	+0,35
Cuadrado Superior	Máxima	+0,75	+0,65	+0,50
	Mínima	+0,30	+0,20	+0,05
Diámetro exterior	Máxima	+0,40	+0,40	+0,05
	Mínima	+0,00	+0,10	+0,00
Diámetro interior	Máxima	-0,30	-0,20	-0,30
	Mínima	-0,70	-0,65	-0,55

2.6 Diseño e Ingeniería asistido por computadora (CAD)

CAD, por sus siglas provenientes del inglés "Computer Aided Design", comprende el uso de diferentes programadores gráficos cuyo propósito es crear y analizar una serie de imágenes, que en conjunto forman un modelo de un producto antes de su construcción. (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006)

Este sistema informático tiene los siguientes beneficios:

- Automatiza el proceso de diseño gráfico de algún tipo de ente.
- Alternativa de construcción de prototipos.
- Ayuda a realizar el dibujo a detalle y la documentación del diseño.
- Permite observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño.

- Posibilita la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones sobre el modelo.
- Reduce el tiempo invertido en los ciclos de exploración debido al uso de sistemas gráficos interactivos.
- Facilita el uso de información del modelo para un proceso de fabricación asistida por computadora.

Una parte importante para el desarrollo de un proyecto es el análisis de elementos finitos, ya que con esto se determina si la pieza o piezas son las adecuadas, o bien si el material propuesto es el más adecuado y logra cumplir con las normas establecidas según sea el caso. (Torres & Cano, 2005)

En términos generales, al estandarizar el desarrollo de productos y reducir el esfuerzo de diseño, pruebas y trabajos de los prototipos, los sistemas CAD/CAM permiten al diseñador conceptualizar con facilidad las piezas a diseñar y considerar propuestas alternativas o modificar con rapidez para la obtención de un diseño que satisfaga los requisitos particulares, conjuntamente facilitan la reducción de costos de manufactura de una manera significativa, y automatizan procesos que abarcan desde la planificación hasta la fabricación, así como el control de máquinas y/o herramientas.

Finalmente, con el uso de un Software, que en este caso es Solidworks®, es posible someter el diseño al análisis de ingeniería para identificar problemas potenciales tales como, deflexión, exceso de carga u obstrucción entre superficies de contacto mediante el ensamble. (Groover, 1997)

2.6.1 Estructura CAD

El desarrollo de un sistema CAD se basa en la implantación de un ciclo de edición soportado por técnicas de representación del modelo, edición y visualización para lograr el diseño de un ente. En este sentido, a un sistema CAD le corresponde realizar las siguientes funciones:

- Definición interactiva del objeto
- Visualización múltiple
- Simulaciones
- Modificación del modelo
- Generación de planos y documentación
- Conexión con CAM

A nivel general se puede considerar que, todos los modelos universales de sistemas de diseño cuentan con mínimo cuatro componentes:

⇒ **Modelo.**

Esta representación computacional del ente en proceso de diseño debe de contener información para su descripción a nivel geométrico y característico. También se determinan las propiedades físicas, térmicas y mecánicas.

⇒ **Subsistema de Edición.**

Permite la creación y edición geométrica e interactiva, para explorar posibilidades de diseño del modelo especificando propiedades abstractas del sistema.

⇒ **Subsistema de visualización.**

Genera imágenes del modelo.

⇒ **Subsistema de cálculo.**

Facilita el cálculo de propiedades del modelo y la elaboración de simulaciones.

2.7 Reuniones DEEPAND

Las reuniones son importantes para la realización de un trabajo en grupo exitoso, en ellas normalmente se presenta la gestación de la reunión, la elaboración de pauta y tareas. (Bicharra García, Kunz, Fischer, & Gomes Pinto García)

El método DEEPAND, por sus siglas en inglés (Describe, Explain, Evaluate, Predict, Alternative Formulation, Negotiation and Decision) es un método para analizar la efectividad de las reuniones entre un equipo multidisciplinario por medio de siete tareas (Khanzode, Fischer, Reed, & Ballard, 2006):

TAREA	ACCIÓN	META	PREGUNTA TÍPICA	EJEMPLO
DESCRIBIR	Mostrar o relatar hechos que estén descritos en el proyecto en cuestión	Construir conocimiento	¿Qué? ¿Cuál? ¿Dónde? ¿Quién? ¿Cuándo?	Mostrar una tabla con estimaciones de costos
EXPLICAR	Revelar la línea de raciocinio	Entendimiento profundo	¿Por qué? ¿Por qué no?	Relacionar soluciones con los requisitos del proyecto

EVALUAR	Evaluar la calidad de las alternativas	Ordenar las alternativas	¿Cuál es la mejor? ¿Cumple con los requisitos?	Mostrar que alternativa A es más barata que la alternativa B o que no hay suficiente financiamiento para alternativa A
PREVER	Estimar valores dados los escenarios futuros	Crear información nueva sobre el proyecto	¿Qué pasaría sí?	Simular cuánto costaría un cambio en un material de construcción especial
FORMULAR ALTERNATIVAS	Crear nuevas alternativas de solución	Crear información nueva sobre el proyecto	¿Qué tal esta nueva alternativa?	Proponer un sistema centralizado para el aire acondicionado
NEGOCIAR	Negociar tareas y responsabilidades	Determinar quién ejecuta las tareas	¿Quién hará o será responsable por...?	Determinar la empresa a cargo de obtener una licencia de un organismo fiscal
DECIDIR	Seleccionar la alternativa que se seguirá (o evitará)	Comprometerse con el resultado	Entonces haremos	Optaremos por vender la empresa X a la firma Y

2.8 Impresión 3D aplicada a la Optomecánica

La impresión 3D es un proceso mediante el cual se crea un objeto real y tridimensional a partir de un modelo 3D en un programa CAD, que se elabora por medio de la unión de materiales, capa por capa.

A nivel usuario directo de las impresoras 3D, permite no sólo el crear piezas propias, sino que también podemos sustituir, para rediseñar o reparar, las piezas de productos comerciales, en razón de que los costos de producción disminuyan. Por consiguiente, la impresión 3D afronta la determinación del fin de vida útil de un producto. (Naranjo Robledo, 2015)

Como se menciona anteriormente, una impresora 3D es una máquina apta para la fabricación de objetos en tres dimensiones partiendo de un modelo 3D, que se clasifican en dos tipos, según la técnica utilizada de impresión:

- ⇒ **De compactación:** Consiste en la compactación por estratos de una masa de polvo para dar lugar a la pieza deseada.

- ⇒ **Por adición o inyección de polímeros:** La pieza es creada por la superposición de capas del propio polímero. Una de las tecnologías en este tipo de fabricación es la implementada en impresiones 3D de bajo coste, utilizada en este proyecto.

Así mismo, existen en el mercado siete procesos principales que pueden considerarse como impresión 3D o tecnologías de fabricación aditiva (Berchon, 2014), dentro de las cuáles se encuentra la utilizada para el desarrollo del modelo optomecánico de este proyecto, que se define a continuación:

Extrusión de material (*Material Extrusion*): Empleada en impresoras 3D personales y semiprofesionales, que son más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, así mismo se utiliza por la calidad de impresión, material y coste. *El proceso es el conocido como FDM (Fused Deposition Modeling) o Modelado por Deposición Fundida o FFF (Fused Filament Fabrication) o Fabricación con Filamento Fundido. Consiste en fundir un termoplástico y extruirlo a través de una boquilla e ir depositándolo capa por capa de la base a la cima.* (Naranjo Robledo, 2015). La gran ventaja reside en la facilidad de su uso, aunque a veces es difícil manipular el filamento, estos filamentos generalmente se distribuyen en dos tipos, de acuerdo al diámetro del hilo.

El objetivo principal del proyecto es orientar la impresión 3D para obtener un beneficio en el área de optomecánica, lo que permite realizar pruebas de impresión para ajustar y controlar los parámetros de las piezas impresas, ya que la versatilidad del diseño 3D (CAD) permite diseñar piezas de acuerdo a las necesidades del usuario y obtener como resultado un análisis óptico determinado.

Para poder realizar cualquier modelo optomecánico es necesario evaluar los resultados obtenidos, es decir, las piezas necesitan ser evaluadas en base a los siguientes parámetros:

- ⇒ **Funcionalidad:** Que las piezas cumplan con la función dentro del sistema óptico para la cual fueron diseñadas.
- ⇒ **Calidad superficial:** Se refiere a la calidad de impresión que las piezas obtienen, este depende del fin para el que están destinadas.

- ⇒ **Resistencia:** Esto permite sustentar el peso de otras piezas o elementos del sistema óptico.
- ⇒ **Tiempo de fabricación:** Se basa principalmente en el análisis de tiempo total necesario para obtener la pieza final, esto abarca desde el diseño 3D hasta el tiempo de montaje.
- ⇒ **Coste:** Consiste en verificar si la impresión 3D es rentable dentro del ámbito de la optomecánica, lo que comprende desde el coste de material, coste de la pieza y tiempo de impresión.

2.8.1 Materiales de la Impresión 3D.

Los materiales empleados en la impresión 3D se basan en su mayoría, en dos grandes familias, metales y plásticos. Sin embargo, debido al avance de las tecnologías se ha hecho posible el uso de nuevos materiales como los mencionados en la siguiente tabla (Berchon, 2014):

Tabla 2.4 Materiales de Impresión. <i>Principales materiales de impresión.</i> [Como se citó en (Berchon, 2014) Pág. 65]			
Materiales Orgánicos	Cerámicas	Plásticos	Metales
Ceras	Aluminio	ABS (Acronitrilo butadieno estireno)	Aluminio
Tejidos de células	Mullita	PLA (Poliácido láctico)	Acero de utilaje
	Circonio	PET (Politereftano de etileno)	Titanio
	Carburo de Silicio	Poliamida (Nylon)	Iconel
	Beta-fosfato triacático	Poliamida reforzada	Cromo-Cobalto
	Resinas epoxy con partículas de carga en cerámica (nano)	PEEK (Polieteretercetona)	Resinas epoxy termoestables
	Silice (arena)	Cobre	Ácido inoxidable
	Yeso	PMMA (Polimetacrilato de metilo)	Oro/ Platino
	Grafito	PC Policarbonato	Hastelloy
		PPSU ó PPSF (Polifenilsulfona)	
		Ultem	
		Alumide	

Para la elaboración de este prototipo optomecánico se utiliza la tecnología FDM o *Extrusión de Material*. Las impresoras FDM imprimen sobre todo termoplásticos, en su mayoría ABS y PLA, aunque también se hace uso del hormigón (Berchon, 2014).

ABS (Acronitrilo butadieno estireno). Es el material más utilizado en la tecnología FDM, debido a que se puede obtener un acabado y un pegado o ensamblado sencillo utilizando pegamentos. Este material es versátil, de bajo costo, resistente a los golpes y no es biodegradable, sin embargo, el uso del ABS requiere de una bandeja de impresión térmica.

PLA (Poliácido láctico). Es otro de los materiales más empleados y, a pesar de que puede ser rígido y difícil de manipular, tiene excelentes propiedades medioambientales debido a que es biodegradable y compostable. El uso del PLA se hace sobre una placa de acrílico.

Además, existe una gran multitud de termoplásticos en función de su composición y propiedades, y se pueden adquirir en una amplia gama de colores, incluso transparentes o fluorescentes que pueden brillar en la oscuridad, (Berchon, 2014).

2.9 Identificación de proyectos afines

Inspirados en la biomecánica del ojo humano, Los sistemas de visión son un conjunto de componentes, ordenadamente relacionados entre sí. El diseño de estos sistemas son componentes clave para el desarrollo y avance en la tecnología, la enseñanza, la salud, etc.

Estos sistemas ópticos generalmente están conformados por lentes convencionales de enfoque fijo, lentes sintonizables, elementos mecánicos, monturas y componentes ópticos que mejoran su desempeño. Recientemente el desarrollo de sistemas ópticos ha ido evolucionando de acuerdo a las demandas de los seres humanos, incluso se ha buscado superar las limitaciones de los sistemas convencionales por medio de diversas técnicas de ingeniería basadas en nuevos conceptos y materiales que aumentan el potencial de hacer un sistema óptico más simple y compacto para varias aplicaciones como los sistemas de control de aberraciones. Dentro de los sistemas ópticos que se han ido desarrollando a través del tiempo, se encuentran cuatro que manejan un principio similar al utilizado en este proyecto.

I. Sistema biomimético de lentes de enfoque variable controlado por un actuador de bobina tipo SMA

Es una propuesta de un sistema de lentes con enfoque variable que incluye una lente cristalina, músculos ciliares y fibras zonulares. El sistema de lentes consta de una lente PDMS, rodeada y estirada por brazos de carga unidos a un anillo exterior que gira usando un accionador SMA de tipo devanado cambiando así la longitud focal de la lente. El sistema propuesto utiliza una lente PDMS tipo gel, que es insensible a la gravedad y la vibración externa, y puede convertirse en una forma biconvexa o esférica. (Choi, Son, & Lee, 2009)

II. Modelo de ojo optomecánico para estudios oftalmológicos refractivos

Este es un modelo optomecánico preciso de bajo costo cuyo propósito es la investigación de errores refractivos basados en estudios clínicos básicos, inspirado en el ojo humano recreando errores normales. El modelo fue construido con dimensiones del ojo humano y diseñado con la flexibilidad de ser específico para cada paciente. Para el diseño mecánico del modelo de ojo, se mecanizó la carcasa optomecánica de una esfera de resina de acetal de 28 mm de diámetro, se utilizó un sistema basado en lentes de sílice fundida para hacer el equivalente del cristalino y la córnea en el ojo humano. (Arianpour, y otros, 2013)

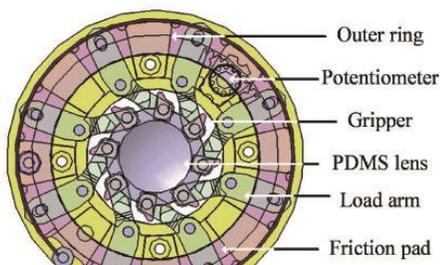


Fig.2.1 Dibujo CAD del ojo KNU. [Imagen tomada de, (Choi, Son, & Lee, 2009)]

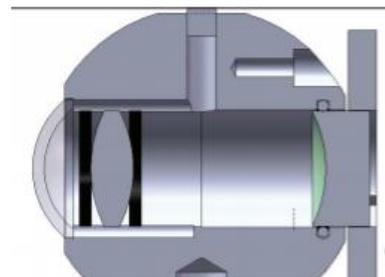


Fig.2.2 Vista de sección del modelo optomecánico del ojo humano. [Imagen tomada de, (Arianpour, y otros, 2013)]

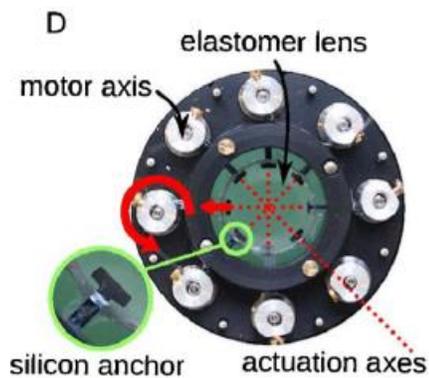
III. Sistema de imágenes sintonizable miniaturizado inspirado por el ojo humano

Sistema de imágenes que combina el uso de lentes sintonizables con aperturas sintonizables, el concepto que utiliza y está basado en materiales innovadores y mecanismos sintonizables. El modelo compacto realizado utiliza componentes ópticos ajustables y está basado en nuevos materiales derivados de técnicas de ingeniería de microsistemas. Otra característica notable en la fabricación de este modelo es el uso de opto fluidos, pero no todos los datos son detallados y confiables en la calidad de la imagen que se logra obtener. (Schuhladen, Petsch, Liebertraut, Müller, & Zappe, 2013)

IV. Lente sintonizable mixta sólido-líquido biónica con estructura multicapa

Este prototipo se basa en una lente que utiliza polímeros elásticos y vidrio como medio óptico, se ajusta cambiando la curvatura de la superficie del polímero elástico. Este mecanismo muestra el potencial para el desarrollo de un sistema óptico compacto, estable y de baja aberración. (Liang, Wang, & Du, 2015)

Aunque todos estos proyectos presentan variantes según su aplicación, son sistemas ópticos inspirados en el funcionamiento de una o varias partes del ojo humano, lo que permite tener una referencia de la representación sus funciones.



actuadores. [Imagen tomada de, (Schuhladen, Petsch, Liebertraut, Müller, & Zappe, 2013)]

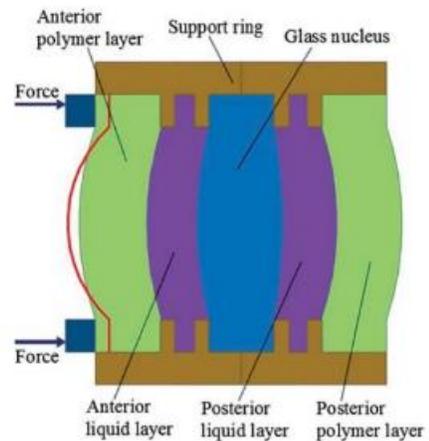


Fig.2.4 Diagrama esquemático de la propuesta de lente sintonizable, [Imagen tomada de, (Liang, Wang, & Du, 2015)]

3.0

DESARROLLO

DEL PRODUCTO

3.1 PERFIL DEL USUARIO

Se plantea el rediseño del modelo optomecánico existente de A. Santiago Alvarado (2015) en dónde las funciones del ojo humano a representar en el sistema son:

- ✓ Enfoque automático de objetos localizados a diversas distancias.
- ✓ Regulación automática de entrada de luz al sistema.

De acuerdo con el capítulo anterior, se procede a definir el perfil del usuario y el tipo de proyecto que se desarrollará de entre todos los tipos de proyectos que se mencionan en la metodología, (Ulrich & Eppinger, 2013).

Datos generales:	<ul style="list-style-type: none"> • Profesor Investigador en el área de Física y Óptica Universidad Tecnológica de la Mixteca.
Descripción del producto:	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo optomecánico que simula la función de autoenfoque y la función de regulación automática de la luz a través de una TSEL elaborada con PDMS.
Uso que se le dará al prototipo:	<ul style="list-style-type: none"> • El prototipo se utiliza con fines de investigación en el área de física de la visión para el desarrollo de sistemas de control de aberraciones y mejorar la calidad de imagen obtenida del ojo humano.
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir tamaño para adaptarla a distintos tipos de tareas. • Técnicas de ensamble y reducción de tamaño de piezas. • Mecanismos de aplicación de fuerzas radiales.
Suposiciones	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos comerciales. • Motor a pasos. • Elaboración con técnica FDM.
Mercado primario:	<ul style="list-style-type: none"> • Investigadores enfocados en el área de óptica visual de la Universidad Tecnológica de la Mixteca .
Mercado secundario:	<ul style="list-style-type: none"> • Investigadores enfocados en el área de óptica visual a nivel mundial.

3.1.2 Declaración de la misión.

Mejoras incrementales a productos existentes.

En estos proyectos sólo se agregan o modifican algunas funciones de productos existentes para mantener actualizada la línea de productos. Se genera un ligero cambio para corregir fallas menores en un producto como es el caso del modelo optomecánico existente.

3.2 Especificaciones del producto

En esta sección, se puede observar como cada uno de los enunciados del cliente se traducen a requerimientos de diseño, para posteriormente traducirse a la voz de ingeniero:

Tabla 3.2 Enunciado del cliente Plantilla rellena por el cliente, (Cuerpo de óptica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca).		
Pregunta/ Sugerencia	Enunciado del cliente	Especificación interpretada
Le gusta: Prototipo actual	La técnica de manufactura Que el modelo pueda fabricarse dentro de las instalaciones de la universidad	Conservar la técnica FDM Reducir el número de componentes y se fabriquen con la maquinaria de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
No le gusta: Prototipo actual	No me gusta que las piezas se rompan con frecuencia No me gusta que esté tan grande	Aumentar el juego de las piezas Reducir el prototipo a una escala más pequeña
Mejoras sugeridas	Sería bueno que no tuviera tantas piezas	Diseñar para facilitar

Una vez completado el enunciado del cliente, se procede a establecer las necesidades que se traducen en los requerimientos de diseño, que sirven para la elaboración de las propuestas en capítulos posteriores. A continuación, se muestran los requerimientos de diseño en la siguiente tabla:

#	Tabla 3.3 Necesidades de Usuario
1	Dimensiones pequeñas
2	Deformación uniforme en 10 puntos simétricamente distribuidos
3	Regulación de entrada de luz uniforme
4	Minimizar el número de componentes
5	Construir montura optomecánica por técnica FDM
6	Facilidad de operación
7	Facilidad de ensamble
8	Facilidad de montaje y desmontaje (actuadores y mesa óptica)
9	Permitir alineación con otros optomecanismos
10	Ligero
11	Diseño compacto

Las relaciones entre las necesidades del cliente y las métricas son esenciales para que las especificaciones sean precisas y medibles, de manera que, al cumplir las especificaciones se logre la satisfacción de las necesidades del cliente. (Ulrich & Eppinger, 2013)

La siguiente tabla, muestra la matriz de relación entre necesidades y métricas, además se establece un nivel de importancia según la escala de Likert (Rinker, 2014), en donde

Tabla 3.4 Nivel de importancia	
5	Muy importante
4	Importante
3	Moderadamente Importante
2	Poco importante
1	Sin importancia

Tabla 3.5 Relación de métricas con necesidades del usuario

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	1	Peso	3	g
2	1,11	Tamaño del sistema	5	cm
3	2	Fuerza máxima en puntos de carga	5	N
4	2	Puntos de transmisión de fuerza	5	#
5	3	Entrada de luz	5	mm
6	4	Cantidad de componentes	3	#
7	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar una lente	4	s
8	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	4	s
9	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	4	s
10	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	4	s
11	6, 7, 8	Tiempos para montaje	2	s
12	11	Volumen	3	cm ³

Tabla 3.6 Matriz de relación; primera casa de la calidad		Peso	Tamaño del sistema	Fuerza máxima de puntos de carga	Puntos de transmisión de fuerza	Entrada de luz	Cantidad de componentes	Tiempo mínimo en desinstalar una lente	Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	Tiempo para montaje	Volumen
1	Dimensiones pequeñas	•	•										
2	Deformación uniforme en 10 puntos simétricamente distribuidos			•	•								
3	Regulación de entrada de luz					•							
4	Minimizar el número de componentes						•						
5	Construido por técnica FDM												
6	Facilidad de operación							•	•	•	•	•	
7	Facilidad de ensamble							•	•	•	•	•	
8	Facilidad de montaje y desmontaje							•	•	•	•	•	
9	Permitir alineación con otros optomecanismos												
10	Ligero	•											
11	Diseño compacto		•										•

En la actualidad, no existe un modelo mecánico que cumpla con las características requeridas, sin embargo, como este es un modelo rediseñado, se puede comparar con el modelo previo a este que permita recolectar datos importantes como volumen, peso y proporciones.

# de métrica	# de necesidad	Métrica	Importancia	Unidad	Prototipo cero optomecánico	Sistema de sujeción de lente	Sistema de manipulación de lente sintonizable.
1	1	Peso	3	g	168g	113.8 g	1,408g
2	1,11	Tamaño del sistema	5	cm	10cm x 8.9cm	50mm x 50mm	10.2cm x 10.2cm
3	2	Fuerza máxima en puntos de carga	5	N	15 N	5N	10N
4	2	Puntos de transmisión de fuerza	5	#	10	8	12
5	3	Entrada de luz	5	mm	No existe	No aplica	No aplica
6	4	Cantidad de componentes	3	#	15	4	10
7	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar una lente	4	Min	5 min	2 min	No tiene
8	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	4	Min	5 min	4 min	No tiene
9	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	4	Min	No aplica	No aplica	No aplica
10	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	4	Min	No aplica	No aplica	No aplica
11	6, 7, 8	Tiempos para montaje	2	S	10 min	3 min	No tiene
12	11	Volumen	3	cm ³	89 cm ³	25 cm ³	105 cm ³

Cada modelo fue elegido de acuerdo a los sistemas que presentaban y la similitud que existen entre ambos, y por medio de ellos se realiza un análisis (Tabla 3.7) que busca disminuir los riesgos de diseño y construcción tomando como referencia las métricas de las prácticas que han sido exitosas (Ulrich & Eppinger, 2013).

Sistema de manipulación de lente sintonizable. Este sistema muestra el diseño y manufactura de un sistema que manipula una lente elástica por medio de un sistema de roscado (Fig. 3.1), funcionando mediante la relación de paso y rosca creando así un deslizamiento que permite la compresión o tensión de la lente por medio de un cono. (Hernández Echeverría, 2016)

Sistema de Sujeción de lente. Este sistema modifica la geometría de la lente por medio de un sistema de fijación de engranes que manipulan un sistema de mordazas permitiendo la deformación y recuperación de su forma original (Fig. 3.2), de la misma manera, el mecanismo implementa relieves para un mejor ajuste y agarre del usuario. (Castillejos Reyes, 2012)



Fig.3.1 Sistema en explosivo, tomado de (Hernández Echeverría, 2016)

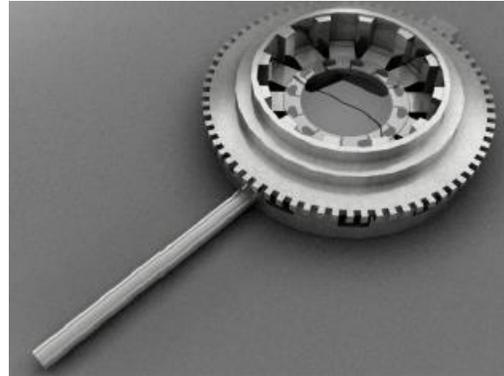


Fig. 3.2. Sistema de sujeción de la lente con la montura mecánica; tomada de (Castillejos Reyes, 2012).

De acuerdo a las características cuantitativas de los sistemas analizados en el benchmarking, se procede a generar conceptos de solución por medio del establecimiento de un valor aceptable, que apenas hace viable el producto de forma comercial, y un valor ideal, que es el mejor resultado que puede esperar el equipo.

Tabla 3.8 Especificaciones del objetivo						
# de métrica	# de necesidad	Métrica	Importancia	Unidad	Valor Aceptable	Valor Ideal
1	1	Peso	3	g	300	150
2	1,11	Tamaño del sistema	5	cm	30cm x 30cm	20cm x 20cm
3	2	Fuerza máxima en puntos de carga	5	N	.5	1.5
4	2	Puntos de transmisión de fuerza	5	#	4	12
5	3	Entrada de luz	5	mm	0	12
6	4	Cantidad de componentes	3	#	4	10-15

8	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar una lente	4	Min	0	3
9	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	4	Min	0	4
10	6, 7, 8	Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	4	Min	0	2
11	6, 7, 8	Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	4	Min	0	3
12	6, 7, 8	Tiempos para montaje	2	s	600	300
13	11	Volumen	3	cm ³	160	120

Para el desarrollo de esta tesis, el rediseño del modelo optomecánico se divide en dos subsistemas (retomados y diseñados en el capítulo cuatro); de este modo se emplean las especificaciones para definir los objetivos de cada uno de ellos, por esa razón, se sugiere reducir el número de especificaciones utilizando solo las aplicables a cada subsistema asegurando las métricas necesarias y descartando las otras durante la ejecución del proyecto.

3.3 Funcionamiento del prototipo cero

De manera general, el funcionamiento del modelo optomecánico a rediseñar consiste en la integración de dos subsistemas que funcionan de manera independiente y se activan a través de un motor a pasos. El subsistema de lente tiene como elemento principal una lente de PDMS y el subsistema de luz un set de aletas.

Se diseñan dos mecanismos, el primer mecanismo de sujeción no debe de afectar la zona óptica de la misma en conjunto con un mecanismo de rotación que genera un movimiento de tensión y compresión para su deformación (Lado posterior); el segundo mecanismo de sujeción para el sistema de regulación debe de permitir el paso u obstrucción de esta por medio de un componente comercial de apertura o cierre mecánico (Lado frontal). Ambos medios deben de encontrarse en caras posteriores, dejando un espacio y activarse de manera autónoma, es decir, el funcionamiento de un subsistema no afecta al desempeño del otro y viceversa.

Las siguientes figuras presentan el diagrama de funcionamiento que expresa la idea del párrafo anterior:

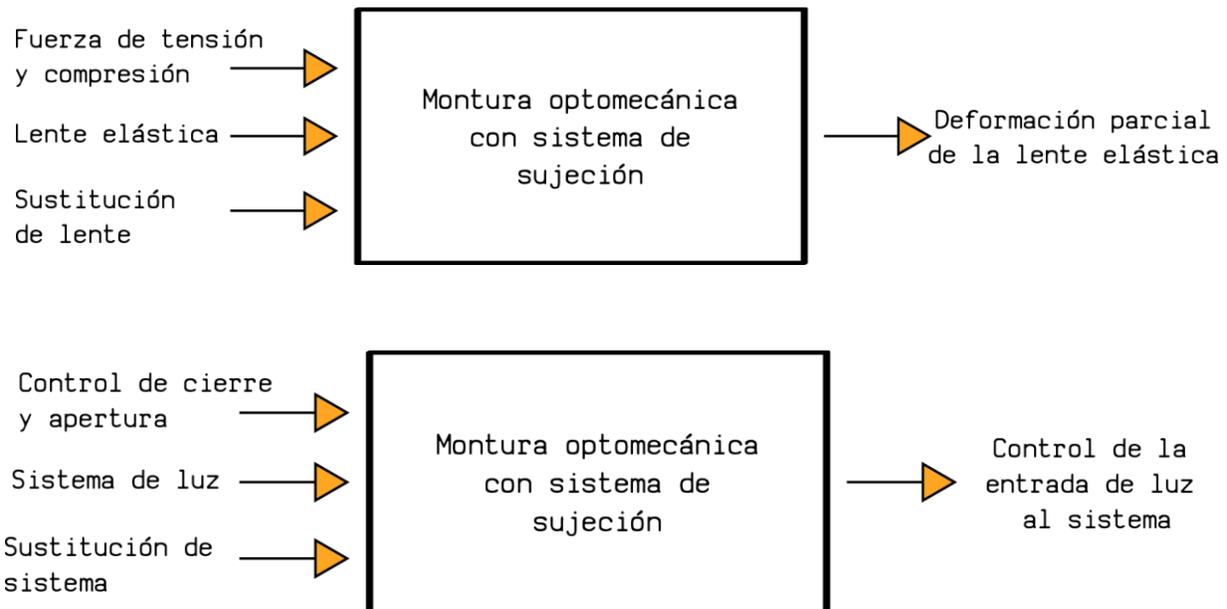


Fig.3.3 Diagrama funcional general de la montura optomecánica

La figura 3.4, muestra el diagrama funcional general del modelo, el cual plantea siete subfunciones dentro del sistema, todas estas siguen una relación de orden para su óptimo funcionamiento, las subfunciones alineadas bajo el mismo margen constituyen una relación de dependencia, comenzando con la “alineación y activación del sistema”, “montaje” y “desmontaje” de los subsistemas (lente elástica y sistema de luz), todos tienen que comenzar en una posición de reposo ya que de no ser así, será difícil ejecutarlas.

La segunda subfunción corresponde a la leyenda “Montaje de matriz...”, ambos subsistemas están ligados a esta porque ocupan el mismo mecanismo de sujeción que permite realizar los movimientos requeridos por el usuario (cierre-apertura, tensión-compresión). Posteriormente se aseguran ambos subsistemas con el disco de ajuste cumpliendo con la siguiente subfunción “Asegurar lente y sistema de luz”.

Finalmente, se aplica el movimiento de rotación sobre dos discos de ajuste, un punto de aplicación por cada subsistema. El movimiento se genera por medio de los motores de paso los cuáles deben de estar sincronizados con el sistema de engranaje y con el programador para que controle el movimiento generado por cada paso del motor.

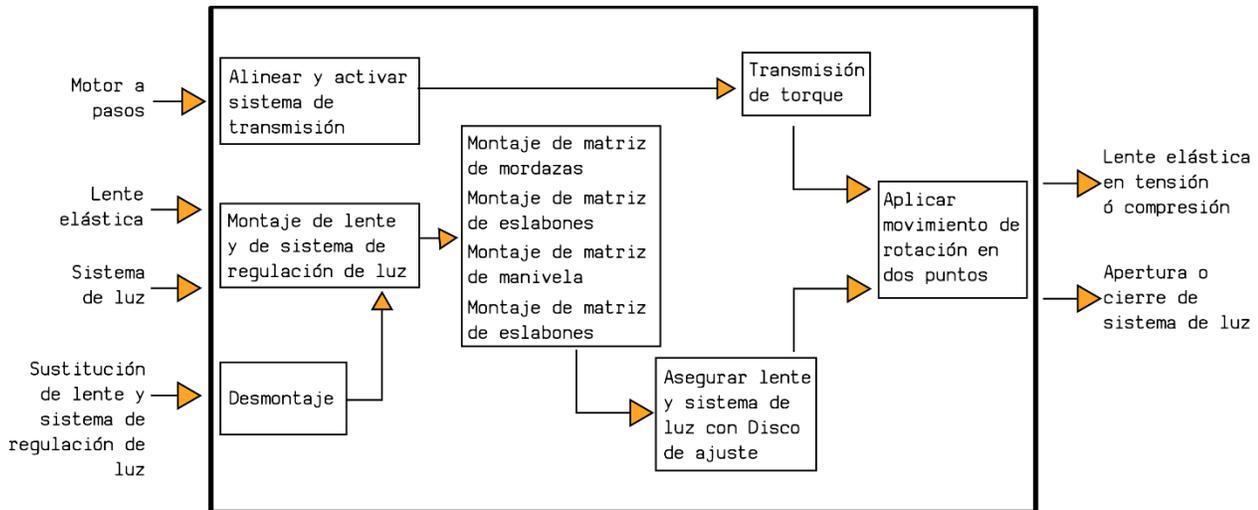


Fig. 3.4 Descomposición del diagrama funcional del modelo optomecánico

Para comprender mejor el funcionamiento del modelo optomecánico se descompone el diagrama funcional en dos partes, abordando la secuencia de pasos que se utilizaron para la activación del modelo a rediseñar una vez instalada la montura mecánica.

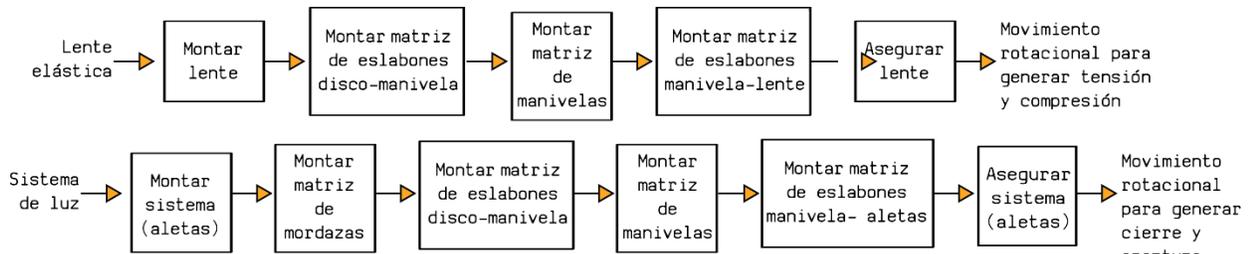


Fig. 3.5 Secuencia de subsistemas aislados de la descomposición del diagrama funcional del modelo optomecánico.

Este desglose de funciones (Fig. 3.5) permite conocer la organización que se utilizó en el desarrollo del primer diseño optomecánico del modelo, y se utiliza para tener una comparativa entre el número de procesos, funciones o pasos entre el diseño y el rediseño.

3.4 Arquitectura del modelo optomecánico

Previamente se comentaron los requerimientos del cliente para el funcionamiento satisfactorio del modelo y una correcta simulación; se requiere de un dispositivo mecánico que cumpla con la deformación de la lente de PDMS por medio de aplicación de fuerzas de tensión y compresión, y al mismo tiempo, el dispositivo debe de controlar la regulación de entrada de luz al sistema con precisión. Así, este modelo optomecánico se compone de varios dispositivos mecánicos, en consecuencia, es necesario tener amplio conocimiento en el diseño de elementos mecánicos que componen el modelo.

A continuación, se presentan algunos elementos empleados en el desarrollo del modelo:

I. Motores.

Un mecanismo requiere algún tipo de dispositivo impulsor para proporcionar movimiento y transformar algún tipo de energía de entrada.

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. En general podemos encontrar dos tipos de motores; motores de corriente continua (CC) y motores de corriente alterna (CA). De acuerdo al modelo de A. Santiago-Alvarado (2015) los motores que funcionan mejor con este diseño son motores utilizados en electrónica.

Tabla 3.9 Clasificación de motores eléctricos. (Meneses Fernández & Jiménez Ceciliano, 2015)			
Tipo de motor	Características	Aplicaciones	Costo
 Servomotor	<ul style="list-style-type: none">✓ Controlado en ángulo de giro y velocidad.✓ Máquina de Ciclo cerrado.✓ Baja potencia y poca capacidad de par de torsión.	Equipos industriales y comerciales.	\$30 a \$90

	<p>Motor de pasos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permanecen energizados durante un lapso indefinido de tiempo. ✓ Máquina de Ciclo abierto. ✓ Grados por paso (1.8-90°). 	<p>Ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.</p>	<p>\$50 a \$1700</p>
	<p>Motor unipolar de pasos modelo 28BYJ-48.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poca potencia (5V) y rapidez. ✓ Tamaño pequeño. ✓ 4 Fases. ✓ 50 Ω de resistencia. ✓ 8 Pasos por vuelta. 	<p>Se utiliza este modelo cuando se requieren movimientos específicos y se reinicia a una posición preestablecida.</p>	<p>\$50</p>

II. Engranés.

Es un mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica de un componente a otro dentro de una máquina, están formados por dos ruedas dentadas de las cuales la mayor se denomina corona y el menor piñón. Un engrane sirve para transmitir movimiento circular mediante el contacto de ruedas dentadas (Águeda Casado, Navarro, & Gómez Morales, 2011). Los engranes también pueden servir para incrementar o disminuir la velocidad del eje impulsado. En la siguiente tabla se clasifican los principales tipos de engrane.

Tipo de engrane	Características	Aplicaciones
 <p>Cónicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poco usados ✓ Usados para reducir la velocidad con ejes a 90° ✓ Ruidosos 	<p>Aplicaciones diversas</p>
 <p>Helicoidal</p> <p>Interiores</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opera de forma más suave y silenciosa. ✓ Contacto gradual. ✓ Más duraderos. ✓ Ideales para aplicaciones de alta carga . ✓ Se usan en ejes paralelos y centros cercanos. ✓ Mayor área de contacto. ✓ Impulsión más resistente. 	<p>Aplicaciones diversas, entre ellas mecanismos de alta carga (Barcos).</p> <p>Aplicaciones diversas.</p>

	Tornillo Sinfín	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizado con ejes en ángulo recto. ✓ Reducción de velocidad considerable. ✓ Funciona como conductor. 	Aplicaciones diversas.
	Cremallera	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transforma movimiento giratorio de un eje en movimiento rectilíneo. ✓ Ejercen relación de longitud no de transmisión. ✓ Engranaje de diámetro infinito. ✓ Son muy fiables. ✓ Sencillos de fabricar y diseñar. ✓ Simples. ✓ Velocidad constante y estable. ✓ Más eficiente transmitiendo potencia entre ejes paralelos. ✓ Empleado para velocidades pequeñas y medias. 	Aplicaciones diversas; empleados en tornos para el desplazamiento del carro.
	Engrane recto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engranaje de diámetro infinito. ✓ Son muy fiables. ✓ Sencillos de fabricar y diseñar. ✓ Simples. ✓ Velocidad constante y estable. ✓ Más eficiente transmitiendo potencia entre ejes paralelos. ✓ Empleado para velocidades pequeñas y medias. 	Aplicaciones diversas. Uso frecuente y extenso.

III. Mecanismos de transformación del movimiento.

El tipo de movimiento que tiene el elemento de entrada del mecanismo es diferente del tipo de movimiento que tenga el elemento de salida, es decir, el tipo de movimiento se transforma en otro distinto, de ahí el nombre de mecanismo de transformación. Se encuentran dos tipos de movimientos que estos mecanismos pueden transformar.

Mecanismos de transformación circular-lineal: El elemento de entrada tiene movimiento circular, mientras que el elemento de salida tiene movimiento lineal. Ejemplo: El mecanismo piñón-cremallera.

Mecanismos de transformación circular-alternativo: El elemento de entrada tiene movimiento circular, mientras que el elemento de salida tiene movimiento alternativo. Ejemplo: El mecanismo de biela-manivela.

Tipo de mecanismo		Características
Mecanismo de transformación circular- lineal	 <p>Manivela Bellcrank o "Palanca de Campana" de 90 grados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambia el movimiento a través de un ángulo (0 a 360°) ✓ Manivela en forma de "L" con dos brazos; uno en cada extremo. ✓ Gira sobre el punto de pivote, tirando de los brazos. ✓ Simples ✓ Eficientes

Para el uso de este mecanismo se necesita considerar el uso de elementos externos que aseguren los elementos y sea posible realizar la transformación de movimiento.

IV. Mecanismos de regulación de luz.

El diafragma es un dispositivo que permite regular la cantidad de luz que entra a la cámara. Se compone por un disco o un sistema de aletas de modo que limite la cantidad de luz que lo atraviesa.

Tipo de mecanismo	Características	Funcionamiento
 <p>Diafragma de iris para sistema de jaula</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compatible con sistema de jaula. ✓ Accionados por palanca. ✓ Continuamente variables. ✓ Instalación permanente en las placas de la jaula. ✓ Funcionamiento suave. 	<p>Montados en placas muy finas que se acoplan a tres varillas de la jaula con un mecanismo de flexión, las hojas son accionadas por medio de un botón palanca que despeja la cuarta varilla de la jaula.</p>
 <p>Diafragma de iris sin agujeros de montaje</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Continuamente variables. ✓ Modelos con y sin agujeros de montaje. ✓ Funcionamiento suave. ✓ Regulación uniforme de cantidad de luz. 	<p>Consiste en un juego de hojas mecánicas superpuestas con dos ejes, al momento de mover la palanca, todas giran simultáneamente creando una forma central simétrica.</p>
 <p>Iris accionado por anillo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perfecto para espacios reducidos. ✓ Favorecedor en el uso de jaula. ✓ Evitan interferencia entre actuador y jaula. ✓ La apertura se puede bloquear por medio de un tornillo de fijación. 	<p>Estas hojas de acero funcionan dentro de un sistema de caja y en espacios reducidos donde no es posible mover la palanca estándar o cuando la palanca roscada no encaja fácilmente.</p>

V. Mecanismos de aplicación de fuerzas puntuales.

Este tipo de mecanismos ejercen fuerzas radiales al abrirse y cerrarse, se toman para realizar un análisis de sus características y comprender su funcionamiento (THORLABS, 1999-2019). Se toman los dispositivos más utilizados en la actualidad y con mayor facilidad de adquisición.

Tipo de mecanismo		Características	Funcionamiento
	Chuck o Mandril universal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Existen de tres a seis mordazas. ✓ Sujeta con rapidez y precisión. ✓ Sistema compuesto por varios elementos mecánicos. ✓ Algunos también pueden sujetar objetos con forma irregular. 	El movimiento se transmite por la llave de mandril la cual gira un piñón que mueve un engrane cónico. Sobre el engrane se encuentra montada una placa en espiral que mueve las mordazas al girar.
	Montura óptica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diámetro variable. ✓ Se pueden ajustar individualmente para formas inusuales. ✓ Reversibles. ✓ Posicionamiento más repetible de componentes. ✓ Facilita el centrado óptico dentro del soporte. 	Funciona mediante tres puntos de presión que actúan sobre la lente. El sistema consiste en una corona con tres palancas que giran sobre el mismo eje de rotación. Las coronas contienen unos postes con facilidad de tracción.

V- Mordazas.

El término mordaza, en general, puede abarcar una amplia clasificación de ellas. Para el desarrollo de este modelo se debe generar una mordaza que cumpla con las necesidades del mismo, por lo tanto, se define esta mordaza como una herramienta que funciona mediante un mecanismo de husillo o de otro tipo, permitiendo sujetar por fricción a una pieza, presionándola en forma continua.

Se concluye entonces que, el estudio de elementos mecánicos por separado ayuda a comprender la función que desempeña dentro de un dispositivo, su comportamiento y los problemas que pueden presentarse el momento de su desempeño si no se emplean correctamente.

3.5 Descripción del modelo optomecánico

El modelo optomecánico elaborado por A. Santiago-Alvarado (2015) pretende reproducir algunas funciones principales del ojo humano por medio de elementos mecánicos y ópticos. En total, se conforma un total de 15 elementos principales los cuáles se describen en las figuras 3.6 y 3.7. El material con el que se fabricaron los componentes de este modelo es ABS respectivamente.

Este prototipo cero funciona con el desempeño de dos subsistemas, los cuales se desglosaron en apartados anteriores, éstas están conformadas por elementos especificados a continuación.

3.5.1 Montura optomecánica.

I. Lado frontal; Subsistema de luz. El lado frontal del prototipo cero (Fig. 3.6) se compone primeramente por un disco de ajuste que permite que el movimiento de los motores sea transmitido, dentro de este disco se encuentra una base con postes que sujeta matrices de eslabones y estos enganchan la matriz de mordazas, para asegurar los eslabones y conectarlos con las mordazas, se sobrepone una matriz de manivelas. De esta manera las mordazas sostienen al conjunto de aletas quienes desempeñan la función de regulación automática de luz. Se define entonces, que la función de este subsistema está completa cuando las aletas abren y cierran en un diámetro igual o mayor a 10mm.

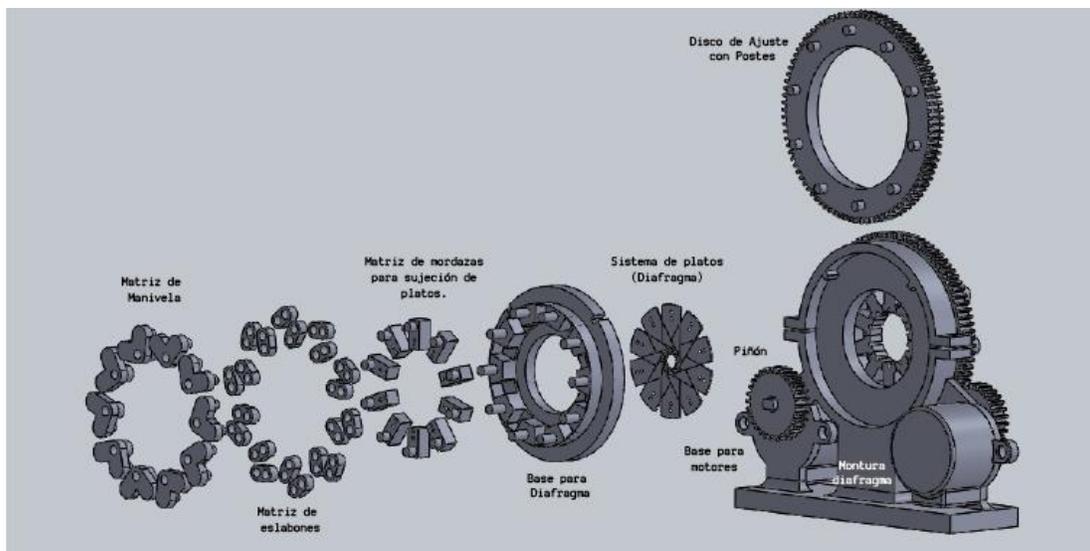


Fig. 3.6 Explosivo Diafragma

II Lado posterior; Subsistema de lente elástica. El lado posterior del prototipo (Fig. 3.7) se integra, al igual que el lado frontal, por un disco de ajuste transmisor del movimiento de los motores; dentro de este disco se tiene una base con postes en donde los eslabones son insertados y para asegurarlos se colocan bellcranks sobre estos; A su vez los eslabones sujetan a las mordazas quienes enganchan a la lente de PDMS. Una vez que el motor enciende la función de tensión y compresión se ejecuta. De igual forma, la función de este subsistema

está completa cuando existe deformación sobre la TSEL de tal manera que cambian las curvaturas de ambas superficies (anterior y posterior).

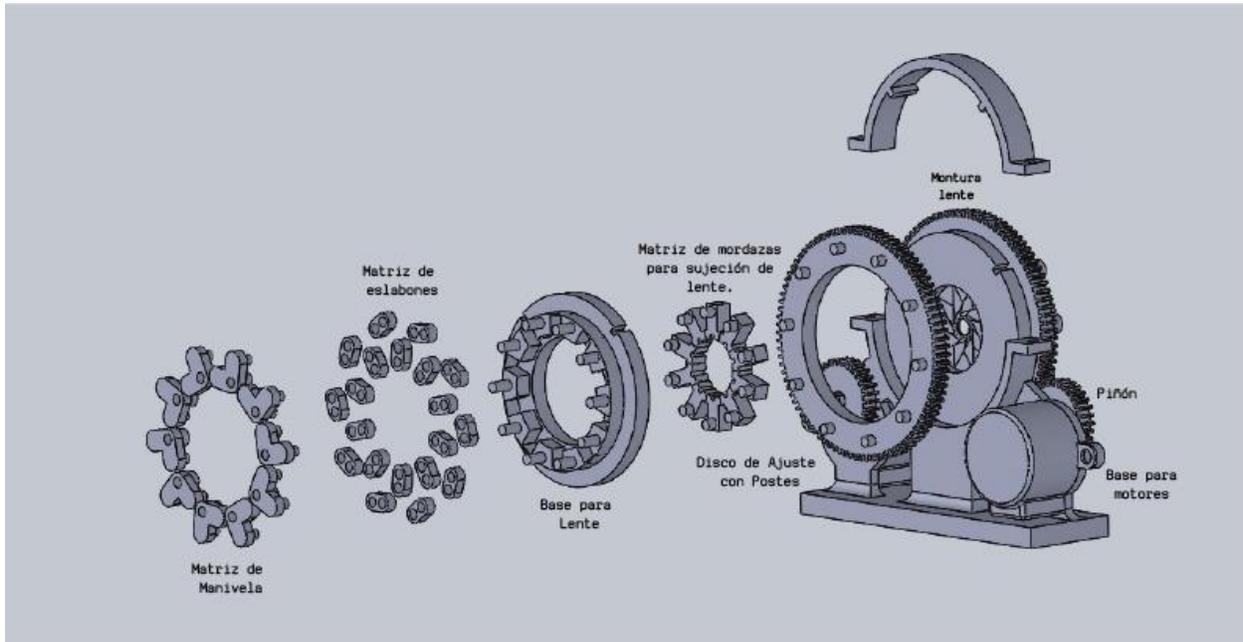


Fig. 3.7 Explosivo Lente

3.6 Lente sólida elástica

El desarrollo en la óptica adaptativa ha mejorado en la calidad de adquisición de imágenes lo que ha demostrado avances en dispositivos bioinspirados y en el desarrollo de componentes. Mediante estos avances se presentan diversos trabajos donde se han diseñado y construido lentes con enfoque sintonizable en diversos campos de aplicación, tales como electrónica de consumo, diagnósticos médicos, comunicación óptica, entre otros (Capi, Frediani, Turco, & De Rossi, 2011).

La lente sólida elástica (TSEL) elaborada en PDMS (Polidimetilsiloxano, Sylgard 184) que se implementó en el prototipo cero, fue manufacturada a partir del diseño previamente reportado por (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015) el cual corresponde al de una lente cristalino del ojo humano. Este modelo se encuentra caracterizado por los parámetros de los radios de curvatura de ambas de sus superficies y las constantes cónicas correspondientes.

El polímero PDMS con el que se fabrica la lente TSEL, tiene una excelente transparencia, baja rugosidad de la superficie, alta elasticidad, excelente estabilidad a la temperatura y buena resistencia a los disolventes. (Santiago Alvarado & Vázquez Montiel, 2019)

3.7 Materiales

Para la manufactura del modelo optomecánico se consideran dos materiales principales, y se comparan sus características para la selección del más adecuado.

Tabla 3.14 Comparativa entre materiales de impresión (Naranjo Robledo, 2015)		
Característica	ABS	PLA
Polímero	Termoplástico	Termoplástico
Origen	Petróleo	Vegetal
Expansión	Alta	Baja
Reciclable	Si	Si
Biodegradable	No	Si
Humos	Nocivos	No nocivos
Acabado	Problemas con las esquinas	Detalles y esquinas nítidas
Warping (Pandeo)	Posible	Poco probable
Tacto	Suave	Menos suave
Color	Mate	Brillo
Rango de colores	Amplio	Más amplio
Resistencia térmica	Alta	Baja
Resistencia mecánica	Alta/ Duro	Baja/ Frágil
Resistencia en piezas entrelazadas (engranes)	Alta	Baja
Flexibilidad	Baja	Baja
Estable con luz UV	No	Si
Absorbe humedad	Si	Si
Soluble en acetona	Si	No
Mecanizado posterior	Sencillo y versátil	Complejo y limitado
Pegado	Acetona/ Adhesivos	Adhesivos
Ventilador de capa	No necesario	Recomendable

Del mismo modo, se enlistan las propiedades térmicas a las que deben de ser sometidos para su impresión:

Tabla 3.15 Propiedades térmicas de los materiales		
Propiedades	PLA	ABS
Índice de volumen de fusión	10.3c CM3	9.7 CM3
Temperatura de transición de vidrio	60-65°C	105°C
Temperatura de caída	70-80°C	110-125°C
Temperatura de Fusión	160-190°C	210-240°C

Temperatura de Impresión	190-220°C	230-250°C
Temperatura de impresión recomendada	50-70°C (Se requiere cama de impresión)	80-120°C

De lo anterior se puede concluir que el PLA se ha impuesto por su estabilidad y facilidad de manejo, siempre y cuando se encuentre en las condiciones de almacenamiento adecuadas, es menos probable que presente warping y expansión al momento de la impresión, además de ser amigable con el medio ambiente. El PLA se utiliza para la mayoría de los proyectos de impresión 3D, aunque es recomendable utilizar ventiladores y cama de impresión.

Por otro lado, el ABS es más flexible que el PLA, no es biodegradable, pero si reciclable. En comparación con el PLA, este material presenta mejor resistencia y puede ser post procesado para lograr un acabado brillante; no obstante, el ABS es muy difícil de imprimir si no se maneja con frecuencia y si las impresoras no están preparadas para ello, creando piezas más débiles que las de PLA.

4.0

**DESARROLLO
DE CONCEPTO**

4.0 DESARROLLO DE CONCEPTO

Como punto de partida para la generación del Modelo optomecánico 2.1 se realiza el siguiente análisis geométrico y funcional, que se basa en el estudio de las partes que componen el modelo, estructura, formas, dimensiones, etc., el objetivo es observar al cuerpo desde distintos ángulos, analizar estos aspectos y presentar gráficamente las piezas del prototipo cero que se obtienen en la fase anterior con el plano en perspectiva explosiva.

4.1 Análisis y evaluación del Prototipo cero

Previo a generar nuevas propuestas de diseño que solucionen la problemática dentro del funcionamiento de la montura del modelo optomecánico existente propuesto por A. Santiago Alvarado (2015) es necesario analizarlo con el propósito de localizar sus virtudes y defectos que darán pie a la creación de un diseño que ofrezca ventajas y soluciones.

A continuación, se realiza un análisis geométrico y de funcionamiento de este prototipo en su conjunto y posteriormente un análisis funcional y un análisis de ponderación de las piezas existentes.

4.1.1 Análisis geométrico.

Dentro de este análisis geométrico se describen las partes que integran el modelo optomecánico y la relación que existe entre las mismas. En general, el modelo está conformado por 7 piezas y 6 matrices de 10 piezas cada una, todas estas piezas cumplen con una función específica que permite el funcionamiento del sistema.

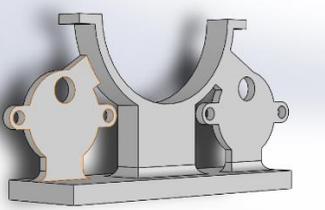
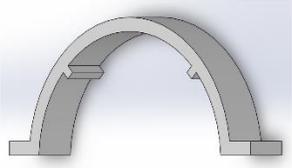
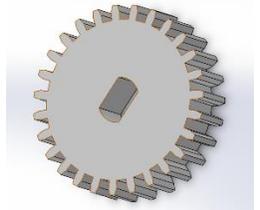
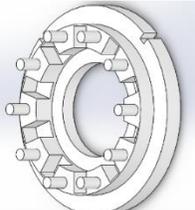
El listado de las componentes se basa en el despiece del sistema completo junto con una descripción general de la función de cada pieza dentro del modelo, para facilitar este análisis, las piezas se dividen en tres tipos:

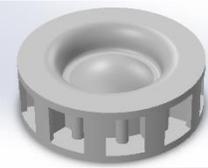
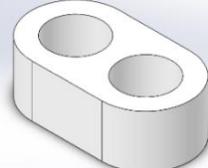
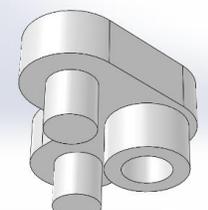
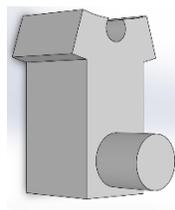
Piezas generales (A): Piezas que forman parte fundamental de la estructura tales como, motores, piñones, soportes, etc.

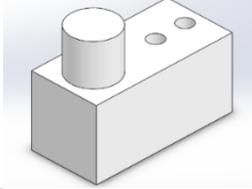
Matrices de piezas (B): Conjuntos de piezas que funcionan de manera integral como eslabones, mordazas, bellcrank, etc.

Piezas individuales (C): Estas piezas son clave para el funcionamiento de este sistema ya que mantienen unidas a las piezas A con las piezas B, como los discos de ajuste.

En la siguiente tabla se clasifican y presentan gráficamente las piezas que integran el modelo optomecánico, se define la forma que poseen por medio de un isométrico, la interacción con las demás piezas y la función principal en relación a la función de las demás.

Tabla 4.1 Nomenclatura e isométrico de piezas Clasificación, nomenclatura e isométrico de piezas del Prototipo cero.			
Clasificación	Nomenclatura	# Piezas (Individual/ Matrices)	Isométrico
General	Soporte A (G1) Base de motor (G4)	1	
General	Soporte B (G2)	1	
General	Piñón (G3)	2	
Individual	Base A (I-1)	1	

Individual	Disco de ajuste (I-3)	2	
Individual	Lente PDMS (I-2)	1	
Individual	Base B (I-4)	1	
Matriz	Aletas (M1)	1	
Matriz	Eslabón (M2)	2	
Matriz	Bellcrank (M3)	2	
Matriz	Mordaza A (M4)	1	

Matriz	Mordaza B (M5)	1	
--------	----------------	---	--

Una vez presentadas las piezas se procede a realizar una matriz de ponderación, dentro de la cual se presenta la relación de importancia que las piezas mantienen entre sí de acuerdo a su nivel de importancia en el funcionamiento del sistema, tomando como punto de comparación las filas frente a las columnas. Se asigna un valor numérico que representa la importancia del objetivo respecto a otro para mantener un control durante el proceso de diseño (tabla 21). En la tabla 22, se presentan los componentes de la montura excluyendo la lente PDMS, que se analizará individualmente, y el motor ya que forma parte externa del análisis.

Comparación	Puntos
Nula	1
Mínima	2
Suficiente	3
Considerable	4
Indispensable	5

En la tabla 4.3 se observa la matriz de ponderación que compara los factores y se evalúan de acuerdo a la importancia y requerimientos del cliente para proponer nuevas alternativas.

Factor	Pieza	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	G1	----	A-4	A-4	D-5	E-5	A-3	A-3	A-2	A-2	J-4	A-4
B	G2	----	----	B-4	D-5	E-5	F-2	B-3	H-3	B-2	J-3	B-2
C	G3	----	----	----	D-5	E-5	C-3	C-4	C-3	I-3	J-4	C-2
D	I1	----	----	----	----	E-5	A-3	D-5	D-4	D-4	D-4	D-4
E	I3	----	----	----	----	----	E-4	E-5	E-5	I-3	E-2	E-4
F	I4	----	----	----	----	----	----	G-2	H-3	I-4	J-3	F-2
G	M1	----	----	----	----	----	----	----	H-3	I-3	J-4	K-2
H	M2	----	----	----	----	----	----	----	----	H-3	H-2	H-3
I	M3	----	----	----	----	----	----	----	----	----	I-2	I-3
J	M4	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	J-4
K	M5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

A partir de los datos de la matriz de ponderación, se obtienen los porcentajes respectivos de cada factor por medio de la suma de los valores de importancia asignados al compararlos entre sí que aparecen en las columnas. Los resultados se muestran en la tabla 4.4:

Factor	Puntos	Porcentaje (%)
A	22	11.8
B	11	5.9
C	12	6.5
D	36	19.4
E	40	21.5
F	4	2.2
G	2	1.1
H	17	9.1
I	18	9.6
J	22	11.8
K	2	1.1
TOTAL	186	100

El valor numérico de los puntos se obtiene sumando todos los valores de importancia asignados cada factor que se pueden observar en las diferentes columnas de la matriz.

Como resultado de esta matriz de ponderación, se entiende que las piezas generales resultan un buen soporte para el sistema de luz y para la lente, sin embargo, la relación que presentan con el mecanismo de las matrices de piezas es secundario, mientras se mantengan las funciones que estas representan.

Dicho esto, se enfoca esta evaluación en los mecanismos que controlan la lente y el sistema de luz para la reducción de componentes, teniendo en cuenta las funciones que deben de ejecutarse para que su desempeño sea adecuado.

4.1.2 Evaluación del análisis geométrico.

De acuerdo a lo obtenido, las piezas con menor puntuación pueden ser modificadas o eliminadas mientras se conserve la función que desempeñan por medio de la optimización y/o reemplazo parcial o total de ellas. Las piezas son presentadas en la tabla 24, siguiendo la nomenclatura anteriormente establecida, que es en primer plano la clasificación a la que pertenece cada pieza.

Tabla 4.5 Piezas con menor valor de ponderación			
Clasificación	Factor	Pieza	Menor porcentaje (%)
Individual	F	I4	2.2
Matricial	G	M1	1.1
Matricial	K	M5	1.1

4.1.3 Análisis funcional.

Este análisis tiene como objetivo principal mejorar el producto mediante el estudio de sus funciones; la tabla 4.6 describe la forma geométrica de la pieza, la interacción que tiene con las demás y la función que desempeña en el prototipo cero.

Tabla 4.6 Descripción de las piezas.			
Descripción de las características de las piezas, funciones e interacción.			
Nomenclatura	Forma	Interacción con piezas	Función
G-1	Prismática	G-4, I-3	Base del disco de ajuste.
G-2	Prismática	G-1	Fija el disco de ajuste con el soporte A.
G-3	Cilíndrica	I-3	Transmite el movimiento generado por los motores.
G-4	Cilíndrica	G-1, G-3	Asegura los motores con la base.
I-1	Cilíndrica	M-2, M-3, M-4	Base para lente TSEL. Sujeta eslabones y mordazas.
I-2	Prismática	M-4, I-1	Transfiere movimiento rotacional. 8 Mordazas aplican fuerza sobre la lente. Imita Cristalino del ojo humano.
I-3	Cilíndrica	M-2, I-1, G-3	Transfiere movimiento rotacional, girando la base dentro de un margen de 0-45° aproximadamente.
I-4	Cilíndrica	M-1, M-2, M-3, M-5	Base para diafragma. Sujeta eslabones, mordazas y aletas.
M-1	Prismática	M-2	Imita la función de regulación automática de luz.
M-2	Prismática	I-2, M-4	Transmite movimiento.
M-3	Prismática	M-2	Realiza movimiento de tensión y compresión.
M-4	Prismática	M-2, I-2	Transmite movimiento de bellcranks hacia aletas y lente de PDMS.
M-5	Prismática	M-1, M-2	Fija las aletas con la base.

Con el propósito de mejorar la calidad del sistema y obtener uno con desempeño superior frente a las funciones requeridas, se realiza una clasificación de funciones (bajo el formato de las reuniones DEEPAND)

del prototipo cero, donde el usuario asigna un porcentaje de importancia a cada pieza de acuerdo a la función que debe de desempeñar y de acuerdo al valor asignado se clasifica en principal o secundaria (Tabla 4.7, 4.8).

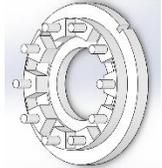
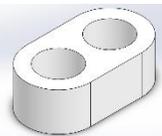
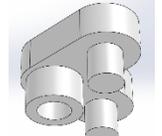
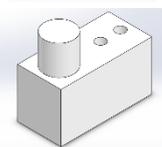
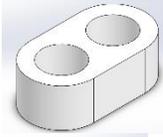
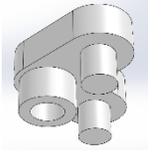
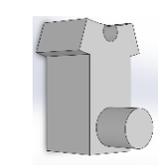
Tabla 4.7 Piezas del subsistema de luz					
Figura	#	Elemento	Función	Principal	Secundaria
	I-3	Disco de ajuste 30%	A. Ajustar las fuerzas radiales incrementándolas o disminuyéndolas linealmente al girarlo.	×	
	I-4	Base para diafragma 10%	B. Base guía para transmitir fuerza hacia mordaza, y aletas.		×
	M-1	Aletas 30%	C. Controlar la cantidad de luz que ingresa al sistema por medio de su apertura.	×	
	M-2	Eslabón 15%	D. Establecer sujeción entre mordazas y disco de ajuste.		×
	M-3	Bellcrank 10%	E. Transformar el movimiento en un ángulo.	×	
	M-5	Mordazas A 5%	F. Sujetar las aletas para que éstas abran o cierren al momento de aplicar fuerzas.		×
TOTAL:		100%			

Tabla 4.8 Piezas del subsistema de lente elástica					
Figura	#	Elemento	Función	Principal	Secundaria
	I-1	Base de lente PDMS. 30%	G. Posicionar y fijar la lente con exactitud y rigidez para obtener las imágenes de forma definida.	×	

	I-3	Disco de ajuste 30%	H. Disco que ajusta las fuerzas rotacionales incrementándolas o disminuyéndolas linealmente al girarlo.	×	
	M-2	Eslabón 15%	I. Establecer sujeción entre mordazas y disco de ajuste.		×
	M-3	Bellcrank 15%	J. Transformar el movimiento en un ángulo.	×	
	M-4	Mordazas B 10%	K. Sujetar la lente adaptiva mediante un gancho, que permite que el material no se separe de la mordaza al aplicarse fuerzas radiales. L. Deformar y recuperar forma original.	×	
	TOTAL:	100%			

4.1.4 Evaluación del análisis funcional.

Concluido el análisis físico del sistema y junto con el usuario, se asigna un nuevo porcentaje respecto al valor establecido en las tablas anteriores, indicando que tanto cumple con el nivel de satisfacción deseado.

La primera tabla (4.9) muestra el resumen de los valores del subsistema de luz. El lado frontal de este prototipo no presenta físicamente la pieza definida como el diafragma (aletas) que es la que se encarga de regular la entrada de iluminación al sistema, sin embargo, el funcionamiento de las piezas I3, I4, M2 y M3 es idéntico al lado posterior y es posible asignar un valor de evaluación, pero las a las piezas M1 y M5 tienen funciones particulares que no es posible observar, por lo tanto, su porcentaje es nulo.

Tabla 4.9 Valores del funcionamiento del subsistema de luz			
Función	% Total de función.	Nomenclatura de Pieza	% Que cumple el componente.
A	25%	I3	25%
B	20%	I4	15%
C	20%	M1	0%
D	10%	M2	8%
E	15%	M3	12%
F	10%	M5	0%

La tabla 4.10 muestra los valores del lado posterior del prototipo cero.

Tabla 4.10 Valores del funcionamiento del subsistema de lente elástica			
Función	% Total de función.	Nomenclatura de pieza	% Que cumple el componente.
G	30%	I1	25%
H	25%	I3	15%
I	10%	M2	7%
J	10%	M3	4%
K	15%	M4	8%
L	15%	M4	10%

Tomando el análisis geométrico y funcional, se realizan las conclusiones finales para el rediseño de piezas en el subsistema de lente elástica y el subsistema de luz que servirán como punto de partida para proponer soluciones.

Tabla 4.11 Conclusiones de Sistema de Luz				
Pieza	Nomenclatura	Función de la pieza	Conclusiones	Estado Final
Disco de ajuste	I3	A H	Forma geométrica adecuada, con desempeño satisfactorio.	Buena, con modificaciones mínimas.
Base Diafragma	I4	B	Proporciona soporte a las aletas, presenta, fragilidad y desprendimiento en los postes.	Aceptable, con modificaciones
Aletas	M1	C	Número de componentes elevado, dificulta el montaje y el peso en la montura es mayor.	Mala, reemplazable.

Eslabón	M2	D	Cumple satisfactoriamente con la función requerida, uso exclusivo en aletas.	Buena, a consideración.
Bellcrank	E	E	Buen desempeño, uso exclusivo en aletas.	Buena, a consideración
Mordazas	F	F	La función de sujeción con las aletas es aceptable, uso exclusivo en aletas.	Aceptable, reemplazable.

Tabla 4.12 Conclusiones de Sistema de lente elástica				
Pieza	Nomenclatura	Función de la pieza	Conclusiones	Estado Final
Disco de ajuste	I1	A H	Forma geométrica adecuada y desempeño adecuado.	Buena, con modificaciones mínimas.
Base Lente	I3	G	Proporciona soporte a la lente TSEL, los postes de sujeción no resisten los esfuerzos aplicados.	Aceptable, con modificaciones
Eslabón	M2	I	Cumple satisfactoriamente con la función requerida, existe desprendimiento.	Buena, con modificaciones
Bellcrank	M3	J	Buen desempeño, existe desprendimiento.	Buena, con modificaciones mínimas
Mordazas	M5	K L	Desprendimiento con la lente y exceso de piezas.	Innecesaria, sustituible

4.2 Conceptualización de subsistemas

En esta sección del capítulo se definen los subsistemas manipulados por la montura mecánica, el sistema de luz (Parte frontal) y la lente elástica (Parte posterior), de acuerdo con el capítulo anterior, se plantean dos subsistemas optomecánicos con las especificaciones finales de producto para la generación de un concepto y selección del mismo.

La figura 4.1, muestra los dos diagramas técnicos de diseño de las monturas a rediseñar correspondientes al prototipo cero; del lado izquierdo se exponen especificaciones de entrada y del lado derecho se muestran especificaciones de salida predecibles debido a su influencia en la montura.

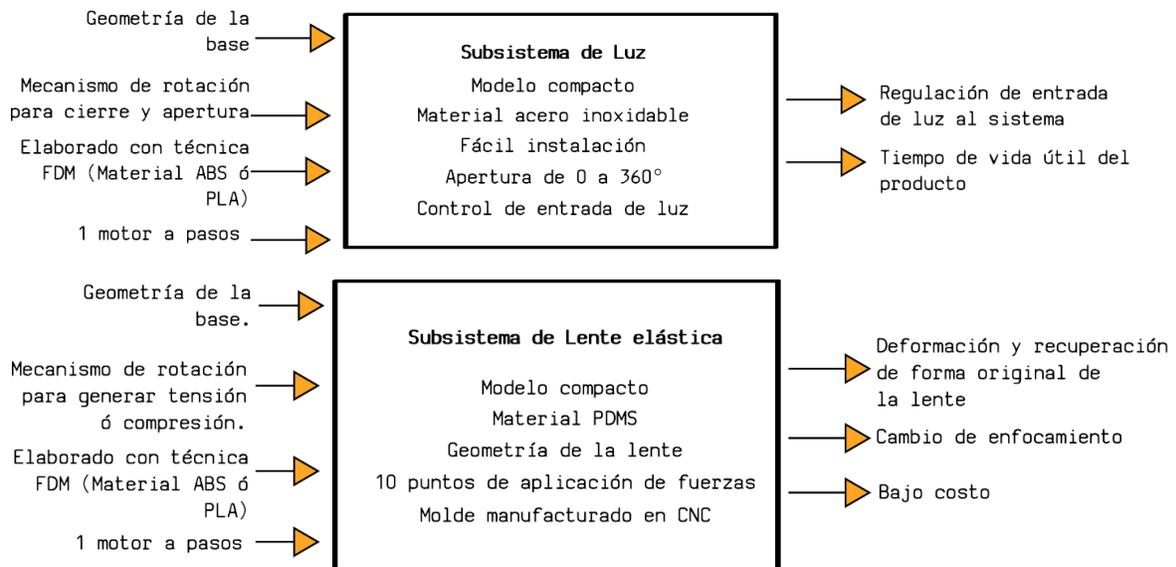


Fig. 4.1 Diagramas técnicos de diseño a partir de las aproximaciones

Consecutivamente se retoman las especificaciones del usuario establecidas en el capítulo 3, y se genera un nuevo desglose de funciones organizacional del Modelo optomecánico 2.1 (Fig. 4.2), que con ayuda del análisis funcional y estructural puede descartar elementos, funciones o pasos que no son esenciales, reduciendo las funciones sin afectar el desempeño del optomecanismo.

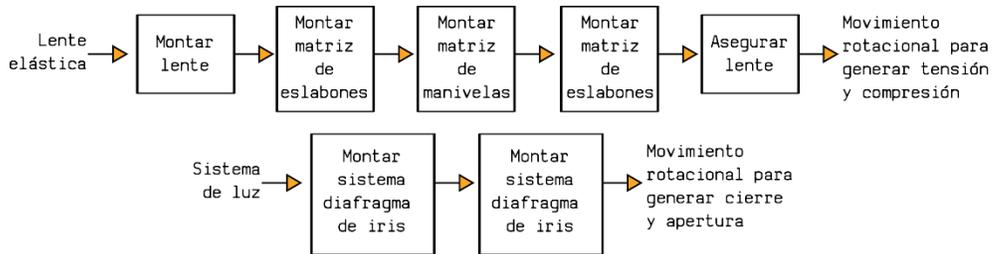


Fig. 4.2 Nueva secuencia de subsistemas aislados de la descomposición del diagrama funcional del modelo optomecánico 2.1.

4.2.1 Subsistema de lente elástica.

Este apartado se enfoca en la geometría propuesta para la lente elástica, el diseño de lente TSEL es elaborado en el artículo de A. Santiago-Alvarado y tiene la capacidad de reproducir datos clínicos con una variación continua de la excentricidad en diferentes diámetros corneales, (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015). De acuerdo con la referencia, para reproducir esta variación en la curvatura de la lente se adopta un modelo previamente reportado en la literatura basado en mediciones de pacientes, y su diseño se presenta en la figura 4.3

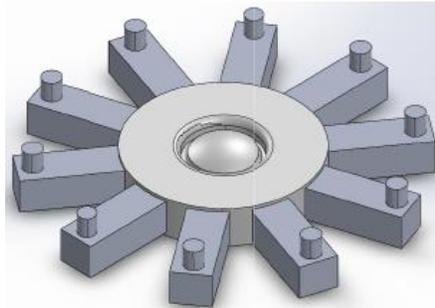


Fig. 4.3 Lente elástica con sistema de sujeción. Tomada de (Santiago-Alvarado, Cruz-Félix, Hernández-Méndez, Pérez-Maldonado, & Domínguez-Osante, 2015)

Se puede observar cómo el diseño geométrico permite manejar hasta diez puntos de aplicación de fuerza, los cuales están ligados a la superficie asférica por medio de extremidades cuadradas denominadas abrazaderas y está sujeta por medio de pequeños postes que se encuentran sobre cada una de estas extremidades; se entiende entonces, por el diseño de la montura del prototipo cero, que es aquí donde existe mayor esfuerzo, ya que son las mordazas quienes actúan sobre estos postes para comprimir y tensionar la parte central de la lente elástica.

Para los objetivos del estudio de rediseño se definen 7 características geométricas del modelo, explicadas a continuación e ilustradas en la fig. 4.4, y que permiten entender el motivo de las modificaciones.

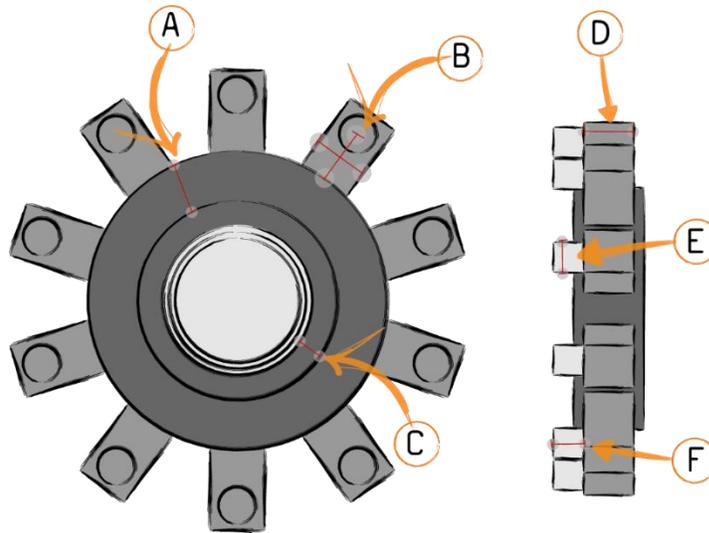


Fig. 4.4 Boceto de lente elástica con la nomenclatura correspondiente.

- A. Acota la distancia entre el primer borde de la lente, se diseña con la intención de proporcionar resistencia y evitar el desprendimiento del centro de la lente TSEL, además es la responsable de distribuir de forma homogénea el esfuerzo aplicado sobre ambas superficies de la TSEL.
- B. La distancia B, se refiere a la longitud de las abrazaderas las cuales son jaladas o empujadas para generar el movimiento de tensión y compresión. Debido a la forma geométrica, generan mayor estabilidad y mejor distribución de fuerza en cada punto.
- C. De igual manera, el segundo borde se diseña para el refuerzo del área central de la lente.
- D. Determina el ancho de las abrazaderas
- E-F. En los postes surge el contacto directo con las mordazas para ser estirados o empujados, si estos no son lo suficientemente fuertes se desprenden con facilidad de la montura optomecánica, como sucede en este modelo.

Tabla 4.13 Descripción de modificaciones y objetivos al subsistema de lente elástica		
Nomenclatura	Objetivo	Modificaciones
A y C	Reducir el área de los bordes.	Debido al tamaño, la fuerza se distribuye en un área mayor y por lo tanto cuando alcanza el perfil esférico es menor.

B y D	Reducir el área de las abrazaderas	Se reduce el ancho y el largo de las abrazaderas.
E y F	Modificar el tamaño de los postes.	Los postes cambian en consecuencia a la modificación de las extremidades y, se crea un aumento del largo y ancho para mejorar la sujeción con la montura optomecánica.

Los objetivos establecidos en la tabla anterior causan cambios geométricos dentro del nuevo modelo de la lente, conservando los parámetros de los radios de curvatura de ambas de sus superficies y las respectivas constantes cónicas, pero produciendo mejoras cuando se aplica el esfuerzo radial.

4.2.2 Subsistema de luz.

Al mostrar gráficamente el nuevo diagrama funcional, en el apartado 4.4, se puede intuir la mejor solución para el desarrollo de nuevos conceptos de subsistemas de luz. En las siguientes seis figuras se muestran los conceptos de solución, correspondientes al subsistema de luz y con la intención de entender mejor el mecanismo se adjunta una tabla de combinación con las composiciones elegidas.

La figura 4.5 se integra por un diafragma de iris actuado por anillo, asegurado por medio de una montura óptica de transición y operada por el uso de dos engranes cónicos.

Montar sistema de luz	Asegurar sistema de luz	Aplicar movimiento de rotación
Diafragma de iris actuado por anillo	Base especial	Engrane recto
Diafragma de iris con sist. de jaula	Montura óptica de traslación	Engrane cónico
Diafragma de iris sin agujeros de montaje	Montura óptica de caja	

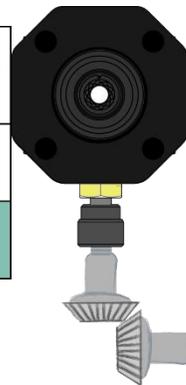


Fig. 4.5 Primera composición del subsistema de luz.

La segunda composición (fig. 4.6) se integra por un diafragma de iris sin agujeros de montaje sobre una base ajustable, la última composición, fig. 4.7, utiliza un diafragma con sistema de jaula dentro de una montura de caja, de la misma manera, ambas figuras son manipuladas por el uso de engranaje recto.

Montar sistema de luz	Asegurar sistema de luz	Aplicar movimiento de rotación
Diafragma de iris actuado por anillo	Base especial	Engrane recto
Diafragma de iris con sist. de jaula	Montura óptica de traslación	Engrane cónico
Diafragma de iris sin agujeros de montaje	Montura óptica de caja	

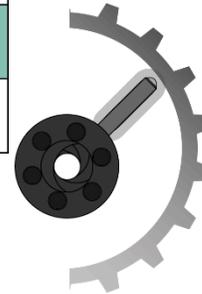


Fig. 4.6 Segunda composición del subsistema de luz.

Montar sistema de luz	Asegurar sistema de luz	Aplicar movimiento de rotación
Diafragma de iris actuado por anillo	Base especial	Engrane recto
Diafragma de iris con sist. de jaula	Montura óptica de traslación	Engrane cónico
Diafragma de iris sin agujeros de montaje	Montura óptica de caja	

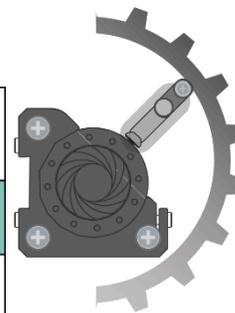


Fig. 4.7 Tercera composición del subsistema de luz.

Con base en lo anterior, se describen las ventajas y desventajas de las propuestas para el subsistema de luz (tabla 36), para luego, discutirse bajo el marco teórico de las reuniones DEEPAND junto con el usuario y seleccionar las más adecuada.

Tabla 4.14 Ventajas y desventajas de las composiciones del subsistema de luz			
# de Propuesta	Subsistemas elegidos	Ventajas	Desventajas
Propuesta 1	Subsistema de luz #2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accionado por rosca ✓ No requiere de elementos extras más que un soporte ✓ Buena sujeción ✓ Material durable 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de dos elementos comerciales ✓ Costo elevado ✓ Uso de engranes cónicos maquinados con aluminio ✓ Pesado

Propuesta 2	Subsistema de luz #2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accionado por palanca ✓ No requiere de elementos extras más que un soporte ✓ Requiere de dos engranes para realizar el movimiento ✓ Ligero ✓ Material durable 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Asegurado por presión ✓ Elaboración de base precisa basada en la geometría del subsistema ✓ Posibilidad de desprendimiento si no se hace adecuadamente
Propuesta 3	Subsistema de luz #3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accionado por palanca ✓ Sujeción segura a base de tornillería ✓ Material durable 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de dos elementos comerciales ✓ Costo elevado ✓ Pesado ✓ Grueso

Como resultado de la reunión se descarta la propuesta número 1 y 3 debido al costo elevado del modelo y se procede al desarrollo de dos propuestas por medio de bocetaje y digitalización de modelos.

5.0

**DISEÑO A DETALLE
Y CONSTRUCCIÓN
DEL PROTOTIPO**

5.0 DISEÑO A DETALLE Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

A partir del trabajo de investigación, composición y análisis de las piezas que integran el modelo optomecánico se realizaron dos propuestas de diseño a nivel sistema que incluye la montura principal, el subsistema de lente elástica y el subsistema de luz. Dentro de estas propuestas se hicieron consideraciones geométricas enfocadas a mejorar su rendimiento, reducir el número de piezas utilizadas y obtener una solución que fuera sencilla y segura, además de tener un proceso de montaje lo más sencillo posible. Uno de los puntos importantes a resaltar, es que estas propuestas son realizadas de acuerdo a las especificaciones del capítulo anterior y serán evaluadas en el siguiente capítulo utilizando la técnica de Valor Ponderado.

5.1 Propuesta 1

Con el propósito de disminuir el espacio utilizado por el optomecanismo, el diseño de esta montura presenta una reducción del 25% del tamaño original, dicha reducción es aplicada a todas las piezas que lo conforman. Además, el modelo presenta una alineación sobre el eje Y (Fig.5.1).

5.1.1 Piezas Generales (G).

Soporte B (G2). El rediseño de esta pieza se enfoca en la modificación de los seguros que sujetan las bases principales de los subsistemas, este está basado en el ensamble de madera a cola de milano de ranura. (Fig. 5.2)

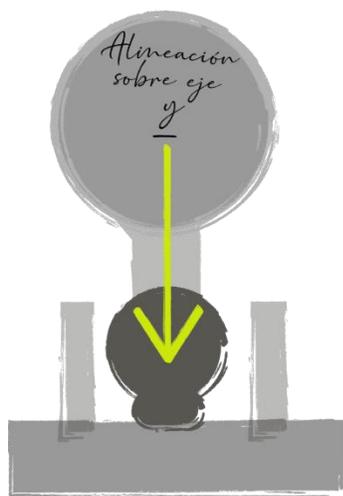


Fig. 5.1 Boceto que muestra la propuesta de alineación del modelo optomecánico.

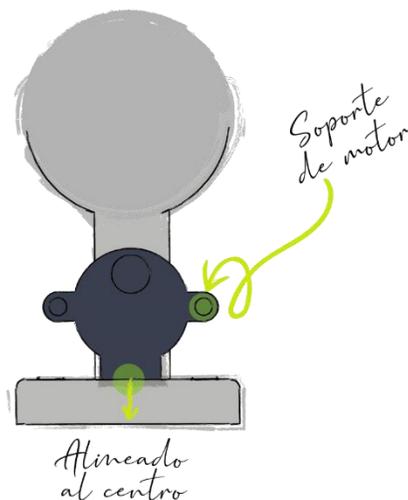


Fig. 5.2 Boceto del soporte de motor sobre la base principal.

Base de motor (G4). Las bases de los motores están centradas de manera que los piñones tocan la parte superior de los discos de ajuste, permitiendo una representación estética más agradable y un mejor manejo del sistema (Fig. 5.2).

5.1.2 Subsistema de luz

Para esta propuesta se utiliza un diafragma comercial DS12 sin agujeros de montaje, el empleo de esta pieza elimina automáticamente las matrices que podían observarse en el modelo anterior.

Disco de ajuste (I3). Se remueven los diez postes creando solamente una extrusión en forma de la palanca del diafragma de iris (Fig. 5.3).

Base del sistema de luz (I4). Se mantienen las circunferencias generales, retirando toda la geometría del círculo interior y creando una cavidad con una distancia de 47° por lado, partiendo desde el centro para que, dentro de ella exista deslizamiento de la palanca y modifique la entrada de luz (Fig. 5.4).

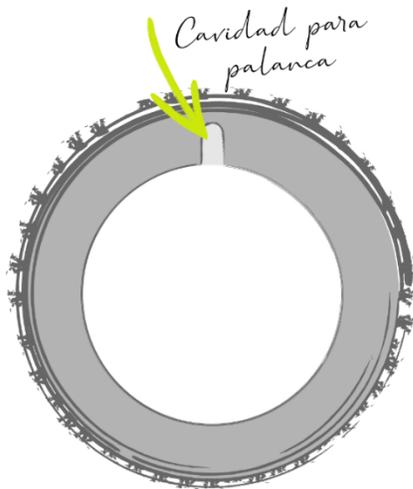


Fig. 5.3 Boceto del Disco de Ajuste del subsistema de luz.

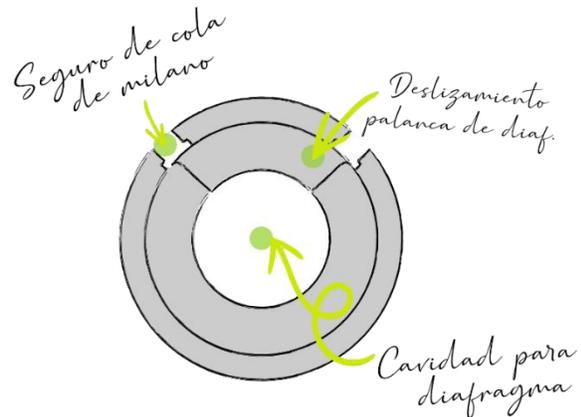


Fig. 5.4 Boceto de la base del subsistema de luz.

5.1.3 Subsistema de lente elástica

En la elaboración de esta propuesta se plantea un agarre directo de eslabones con la lente elástica, por este motivo, la matriz de mordazas es suprimida.

Base de la lente elástica (I1). Se mantiene la geometría general de esta base removiendo los 10 postes que se extruyen, sin embargo, se conserva la circunferencia con la intención de crear orificios en donde se pueda asegurar de manera más fiable las matrices de eslabones (Fig. 5.5). Esta circunferencia mantiene el diámetro de la tornillería convencional utilizada.

Disco de ajuste (I3). Para esta pieza se reemplazan los postes de ABS con postes de aluminio, mejorando la resistencia ya que es en este punto donde se sujetan los eslabones (Fig. 5.6).

Manivela (M3). Esta manivela de campana mantiene la unión de las matrices de eslabones con la base por medio de un poste, para esta propuesta se crea una perforación que atraviesa su centro dejando un diámetro correspondiente a la tornillería implementada para la pieza I1 (Fig. 5.7).

Eslabones (M2). La geometría se extruye un poco más y se aumenta el espacio entre las dos perforaciones a un 1mm más.

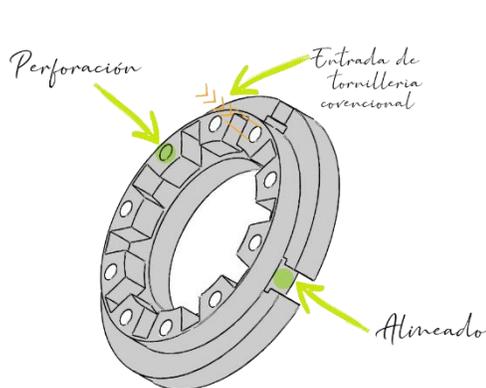


Fig. 5.5 Boceto de la base correspondiente al subsistema de lente.

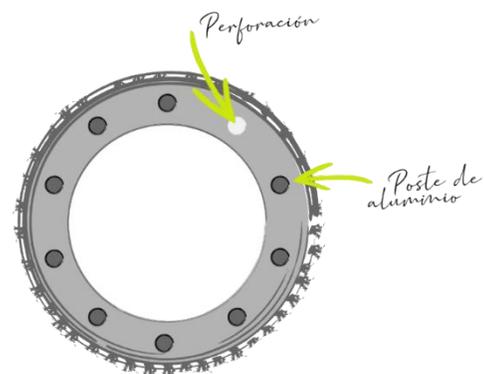


Fig. 5.6 Boceto del Disco de ajuste.

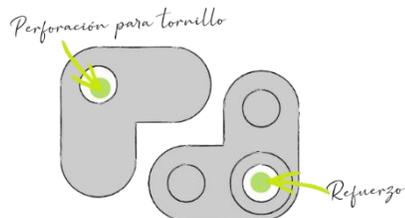


Fig. 5.7 Boceto de la propuesta de Manivela del subsistema de lente.

5.2 Propuesta 2

El diseño de esta montura presenta una reducción del 15% del tamaño original, dicha reducción es aplicada a todas las piezas que lo conforman y, como la propuesta anterior este modelo presenta una alineación sobre el eje Y como se muestra en la figura 5.8.

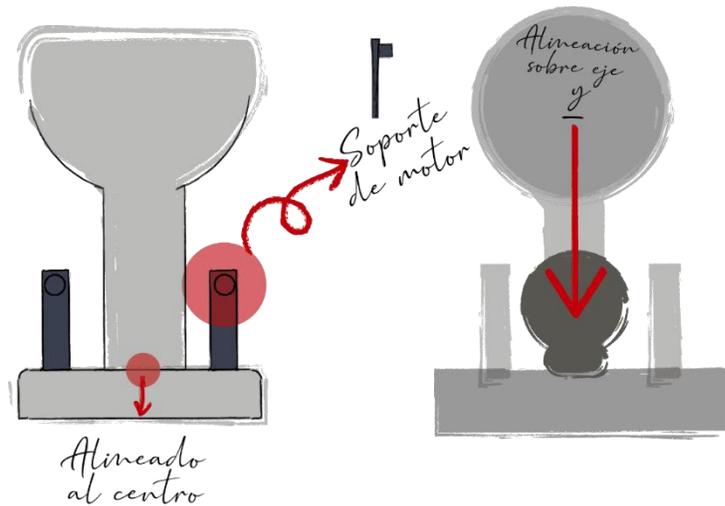


Fig. 5.8 Alineación y diseño de soportes para los motores.

5.2.1 Piezas Generales (G).

Soporte B (G2). Se modifica cambiando los seguros por un ensamble de horquilla sencillo (Fig. 5.9).

Base de motor (G4). Las bases de los motores son reemplazadas por dos postes que forman parte de la base principal junto con el soporte. Estos son alineados bajo el disco de ajuste para que el piñón tenga contacto directo con este (Fig. 5.8).

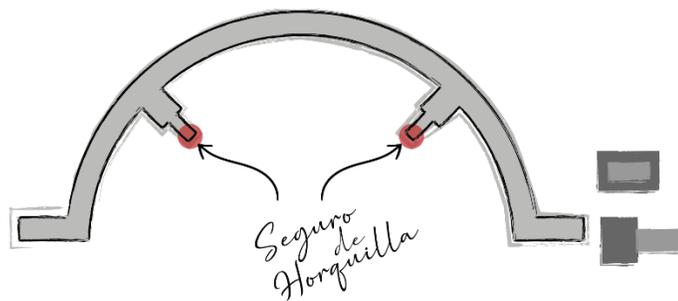


Fig. 5.9 Diseño de seguros para el soporte B.

5.2.2 Subsistema de luz

Para esta propuesta se utiliza un diafragma de iris DS15 y una montura comercial de diafragma

Disco de ajuste (I3). Este engrane tiene una perforación en la parte frontal para que se sujete la palanca del diafragma.

Base del sistema de luz (I4). Se mantienen las circunferencias generales, retirando toda la geometría del círculo interior y creando una cavidad en forma circular en donde entrará la montura de diafragma.

Montura de diafragma. Esta montura es comercial, y contiene un espacio abierto para que la palanca del iris se mueva libremente y un orificio en la parte inferior para montarse sobre postes y otros equipos (Fig. 5.10).

5.2.3 Subsistema de lente

En la elaboración de esta propuesta se plantea un agarre directo de eslabones con la lente elástica, por este motivo, la matriz de mordazas es suprimida.

Base de la lente elástica (I1). Se mantiene la geometría general de esta base removiendo los 10 postes que se extruyen, y se sustituyen por postes de aluminio (Fig. 5.11).

Eslabones (M2). Se conserva la geometría y se utiliza aluminio para su elaboración.

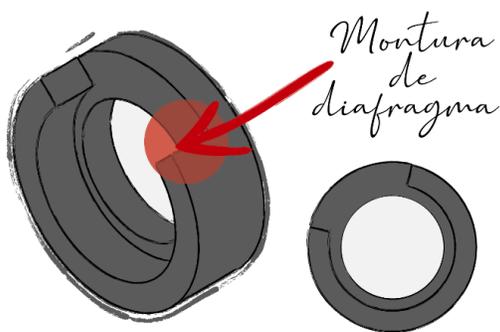


Fig. 5.10 Montura del diafragma de iris para el subsistema de luz.

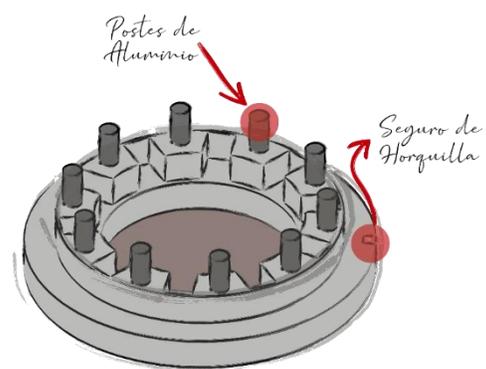


Fig. 5.11 Boceto de la base para la lente TSEL

5.3 Modelado CAD

Terminadas las modificaciones en las propuestas, el próximo paso es utilizar softwares de diseño (CAD) para representarlas computacionalmente, así como para optimizar y dimensionar las piezas con exactitud además de verificar el funcionamiento de los mecanismos a través del establecimiento de propiedades y características del material con el que será fabricado. En este caso se utiliza SolidWorks® para su edición a nivel geométrico, el modelado 3D y renderizado, obteniendo como resultado la generación de imágenes del modelo presentadas a continuación.

5.3.1 Propuesta 1.

Renders de la propuesta #1, ver figura 5.4.

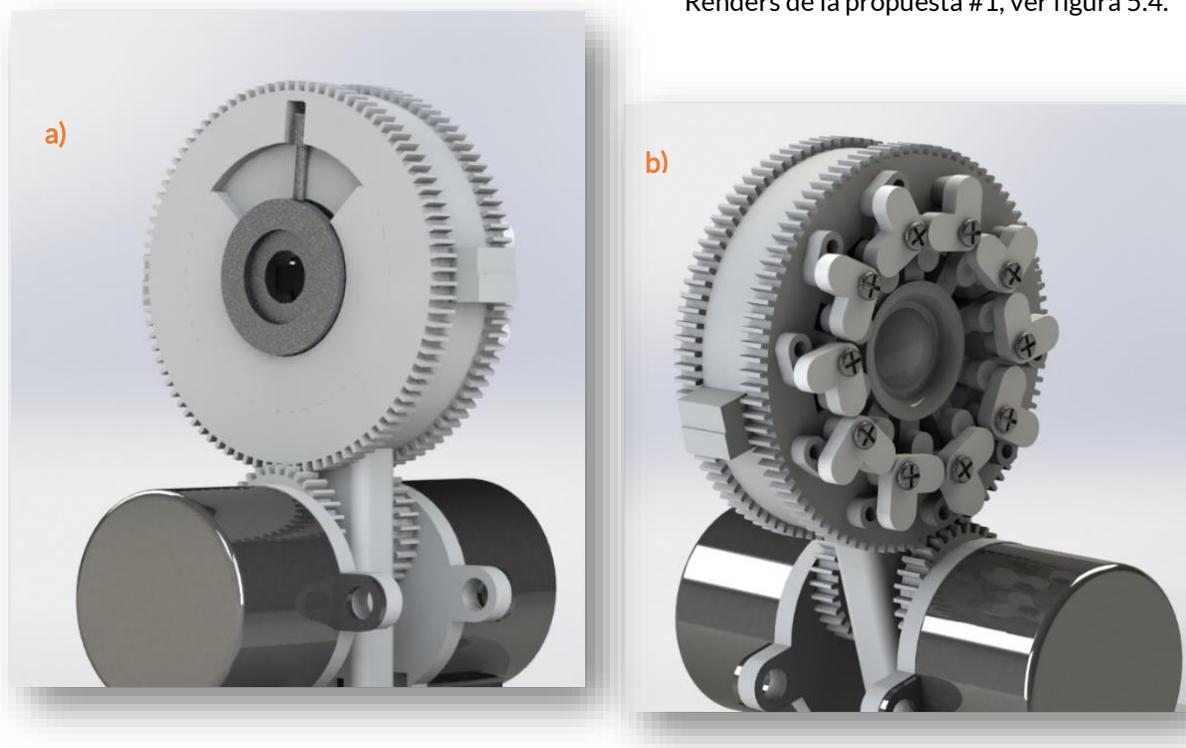


Fig. 5.12. -a) Vista del subsistema de luz con los actuadores, b) Vista del subsistema de lente elástica con los actuadores.

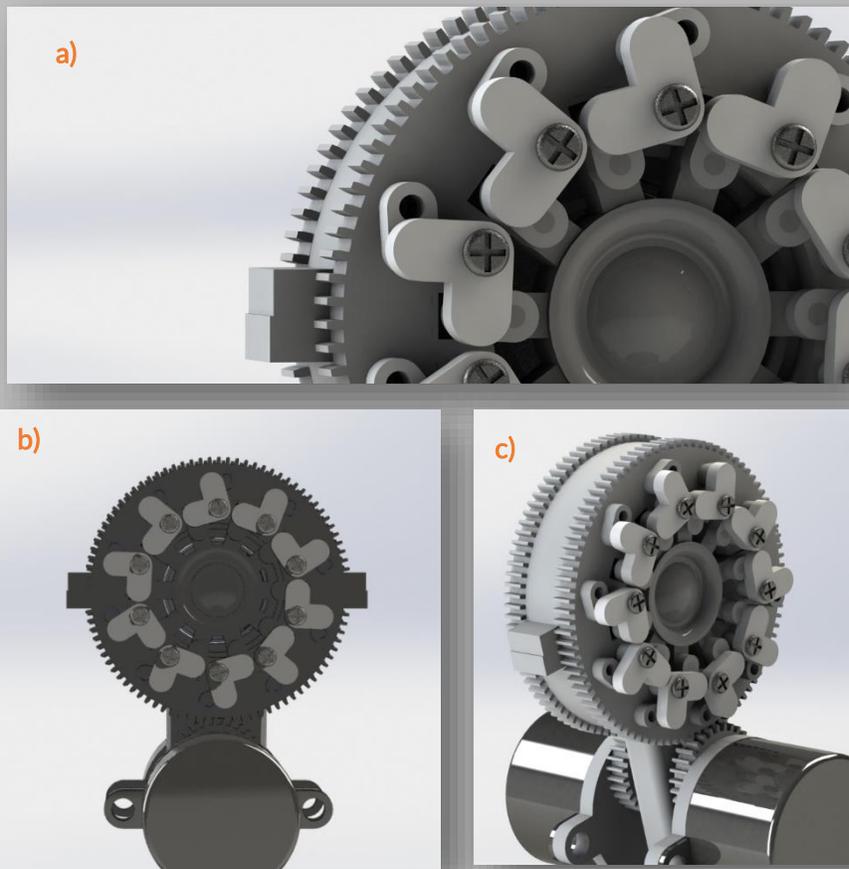


Fig. 5.13. -a) Acercamiento del subsistema de la lente, se observa el sistema de sujeción, b) Vista frontal del subsistema de la lente con los actuadores, c) Vista superior lateral del subsistema de lente elástica.

Tabla 5.1 Propuesta 1, Subsistema de Lente elástica.

Número de componentes:	4 piezas individuales, 2 matrices de piezas.
Material de fabricación:	PLA, Polidimetilsiloxano (PDMS) Sylgard 184. Tornillería convencional de acero recocido.

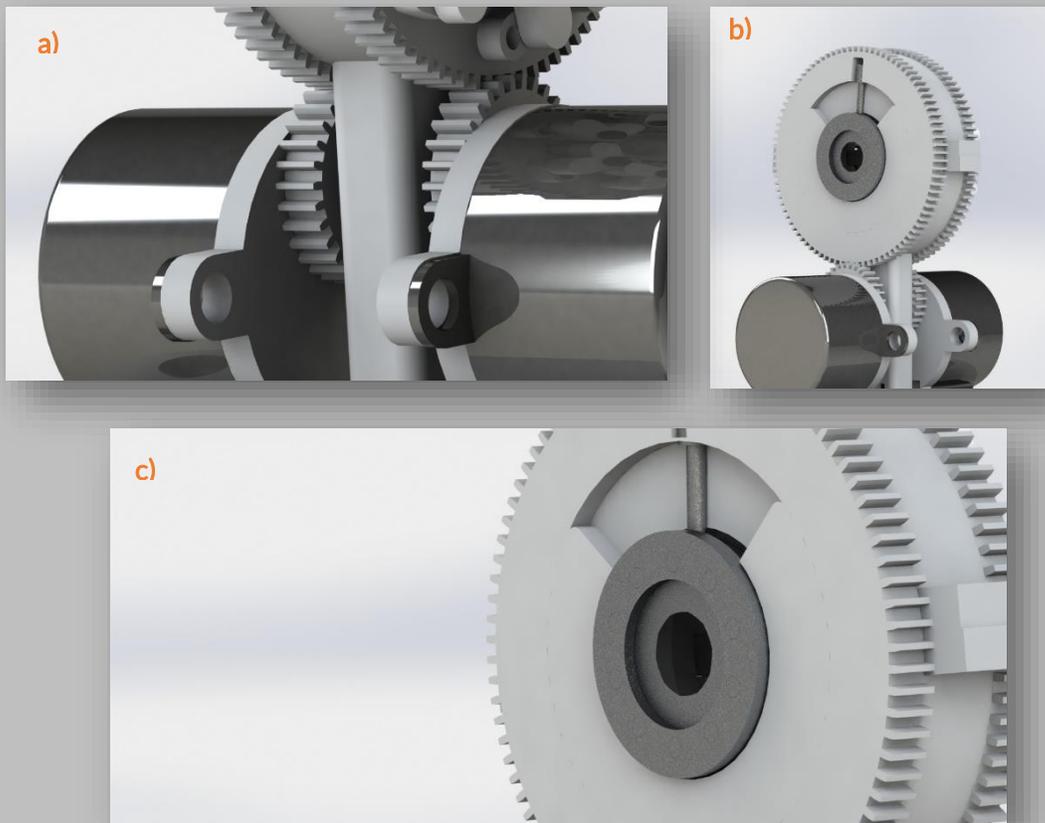


Fig. 5.14. -a) Acercamiento del contacto entre actuadores y discos de ajuste, b) Vista lateral inferior del subsistema de lente, c) Acercamiento al diafragma de iris del subsistema de luz.

Tabla 5.2 Propuesta 1, Subsistema de Luz.

Número de componentes:	3 piezas individuales, 1 pieza comercial.
Material de fabricación:	PLA, Acero inoxidable.

5.3.2 Propuesta 2.

Renders del modelado en software de la propuesta #2, ver Figura 5.6

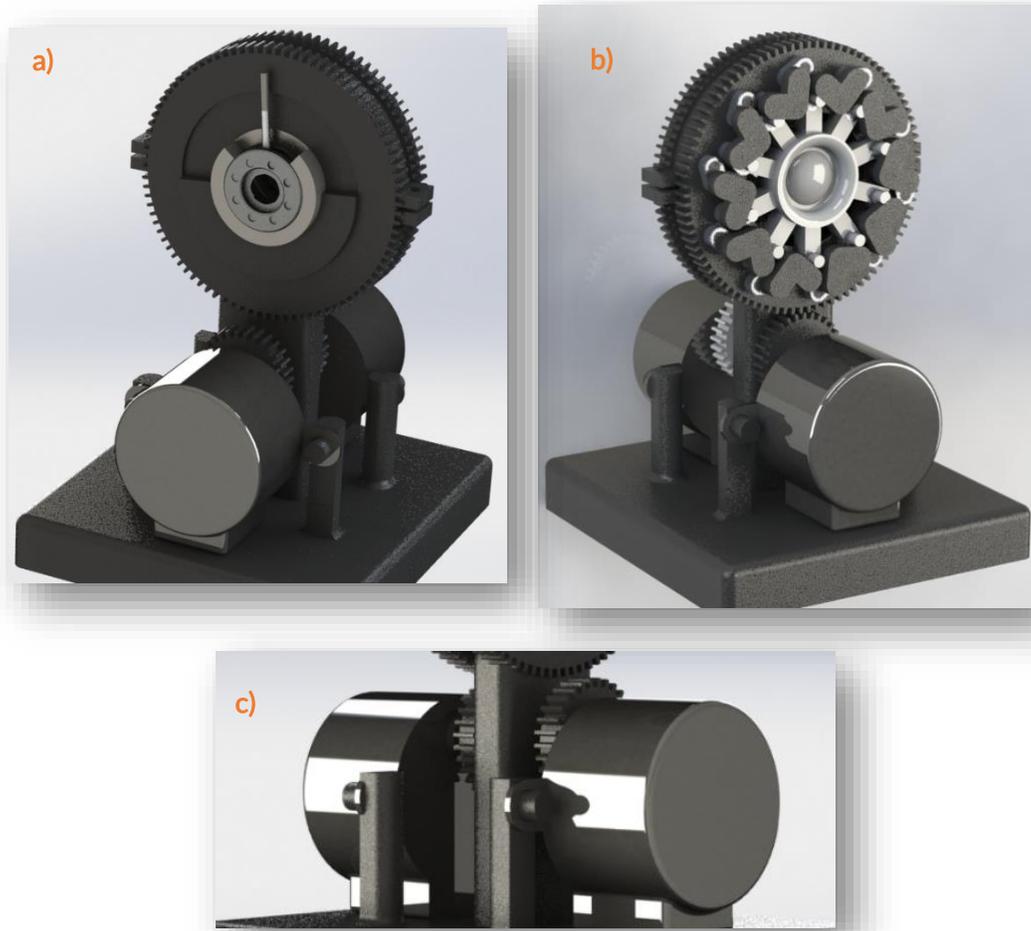


Fig. 5.15 -a) Vista lateral superior del subsistema de luz, b) Vista lateral del subsistema de lente, c) Acercamiento del soporte para los motores.



Fig. 5.16. -a) Acercamiento al sistema de sujeción de la lente TSEL, b) Vista lateral del subsistema de lente, c) Vista frontal del subsistema de lente con los actuadores.

Tabla 5.3 Propuesta 2, Subsistema de Lente elástica.

Número de componentes:	4 piezas individuales, 2 matrices de piezas.
Material de fabricación:	PLA, Polidimetilsiloxano (PDMS) Sylgard 184.

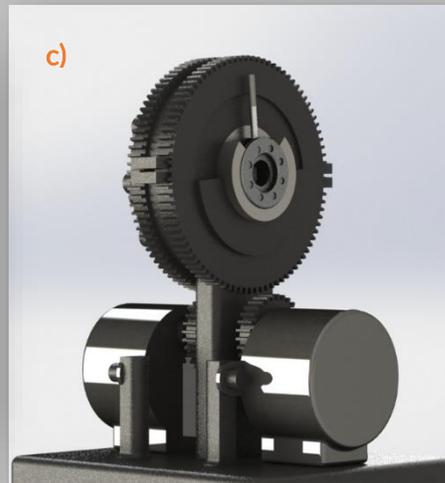
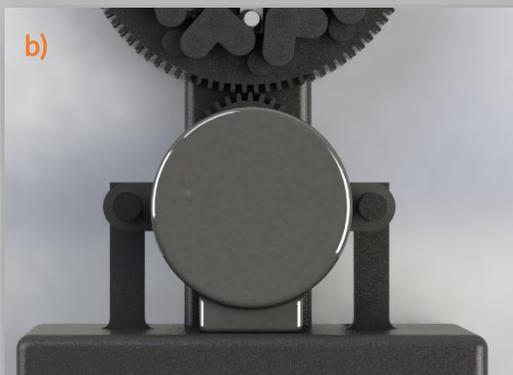


Fig. 5.17 -a) Acercamiento al diafragma de iris con la montura, b) Acercamiento al soporte de los motores, c) Vista lateral del subsistema de luz con los actuadores.

Tabla 5.4 Propuesta 2, Subsistema de Luz.

Número de componentes:	3 piezas individuales, 2 piezas comerciales.
Material de fabricación:	PLA, Acero inoxidable.

5.4 Fase de decisión

Esta etapa es de suma importancia en el proceso de diseño, lo que se realizó fue la elaboración de una presentación de las propuestas generadas a profesores del cuerpo de óptica aplicada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

La conclusión obtenida fue que, si bien la propuesta de mejoras de piezas usando aluminio solucionaba los problemas de resistencia, proporcionaría mayor peso sobre la montura optomecánica y se elevaría el costo de fabricación ya que involucra el empleo de más maquinaria y material, además, la fuerza que se precisa aplicar sobre la lente puede ser resistida por el material ABS o PLA, ya que sus propiedades de mecánicas soportan dicha fuerza.

Algo similar sucede con el uso de accesorios optomecánicos comerciales como la montura para diafragma, la adquisición de más de una pieza comercial puede resultar innecesario si se cuenta con alguna pieza impresa con la técnica FDM que sustituya esta función.

Respecto al sistema de posicionamiento de la lente elástica, se mantiene la sujeción de esta por medio del uso de tornillería convencional, se cumple con la reducción de componentes y, por medio del análisis finito de la lente elástica (presentada en el capítulo siguiente) se comprueba el comportamiento mecánico de la pieza. Entonces, de las dos propuestas generadas se optó por la que mostraba mejores características en relación a los requerimientos establecidos y además el uso de aluminio en la montura optomecánica es menor.

Como últimas correcciones a la propuesta seleccionada, se diseña un espacio en la base de los motores para la salida de los cables, y se decide imprimir dos modelos, uno de PLA y otro de ABS.

Para la selección de la propuesta del modelo optomecánico 2.1 se utiliza una rúbrica de evaluación basada en el Valor Técnico Ponderado (Castillejos Reyes, 2012,), este método utiliza como criterio de evaluación los requerimientos del cliente que, anteriormente, adquirieron un nivel de importancia de acuerdo a la escala de Likert (Tabla 3.5, capítulo3).

La escala de evaluación que se maneja en esta rúbrica consiste en asignar el valor considerado por el cuerpo de óptica teniendo como valor máximo $g_{max}=10$, que indica que la propuesta cumple el criterio con

efectividad y tomando el 0 como valor mínimo, que significa que la propuesta no cumple el criterio en absoluto.

Entonces, se toma el conjunto de requerimientos establecidos en el capítulo 3, se vacían y se convierten en valores nuevos con el propósito de poder estructurar la rúbrica de evaluación compartiendo la misma escala de ponderación. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$NV = (NI \times 10) / 5$$

En donde:

NV= Nuevo valor de importancia

NI= Nivel de importancia anterior

Tabla 5.5 Criterios y valores		
Requerimiento / Criterio de Evaluación	Nivel de Importancia (N.I)	Nuevo valor de importancia (N.V)
Peso	3	6
Tamaño del sistema	5	10
Fuerza máxima en puntos de carga	5	10
Puntos de transmisión de fuerza	5	10
Entrada de luz	5	10
Cantidad de componentes	3	6
Costo de fabricación	3	6
Tiempo mínimo en desinstalar una lente	4	8
Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	4	8
Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	4	8
Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	4	8
Tiempos para montaje	2	4
Volumen	3	6

A continuación, se elabora la rúbrica basada en el método de selección de propuesta de (Castillejos Reyes, 2012,) en donde, los profesores del cuerpo de óptica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca califican las alternativas de acuerdo a los criterios (Requerimientos del cliente). Para generar el Valor ponderado se toma la siguiente ecuación:

$$VTP = \frac{\sum V * N.V}{gmax * \sum N.V}$$

Tabla 5.6 Rúbrica de Evaluación.					
Criterio de Evaluación	N.V.	Propuesta 1		Propuesta 2	
		Vi	Vi x N.V.	Vii	Vii x N.V.
Peso	6	9	54	8	48
Tamaño del sistema	10	9	90	8	80
Fuerza máxima en puntos de carga	10	9	90	9	90
Puntos de transmisión de fuerza	10	9	90	9	90
Entrada de luz	10	9	90	8	80
Cantidad de componentes	6	8	48	7	42
Costo de fabricación	6	8	48	6	36
Tiempo mínimo en desinstalar una lente	8	8	64	8	64
Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	8	8	64	8	64
Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	8	8	64	7	56
Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	8	8	64	7	56
Tiempos para montaje	4	9	36	8	32
Volumen	6	9	54	8	48
Suma	100		<i>856</i>		<i>786</i>
Valor ponderado		0.856		0.786	

El resultado obtenido al evaluar las dos propuestas demuestra que la propuesta 1 cumple con los requerimientos de evaluación de manera satisfactoria obteniendo un mayor número de puntuación sobre la propuesta 2 (Tabla 5.6).

A pesar de seleccionar esta propuesta, se realizan ajustes en la base, y el soporte principal evitando contacto innecesario entre los motores y permitiendo la salida de los cables sin obstrucción alguna. Así mismo, se decide imprimir dos modelos de la propuesta 1, manufacturados de PLA y ABS respectivamente.

5.5 Modelo optomecánico 2.1

El modelo optomecánico queda compuesto por las piezas mostradas en las siguientes tablas:

Tabla 5.7 Piezas Generales	
Isométrico	Modificación empleada
 <p>Soporte A</p>	<p>Perforación oval debajo de la circunferencia principal para evitar contacto entre la flecha de los motores.</p> <p>Perforación en la parte inferior del soporte para la inserción de un accesorio que proporcione apoyo.</p>
 <p>Soporte B</p>	<p>Seguros tipo cola de milano, con mayor área de contacto y formas geométricas que impiden el desprendimiento de las bases.</p>
 <p>Base general (Con el soporte A integrado)</p>	<p>Esta base se ensambla con el soporte A y la base de los motores con espacio para la salida de los cables de los motores.</p>

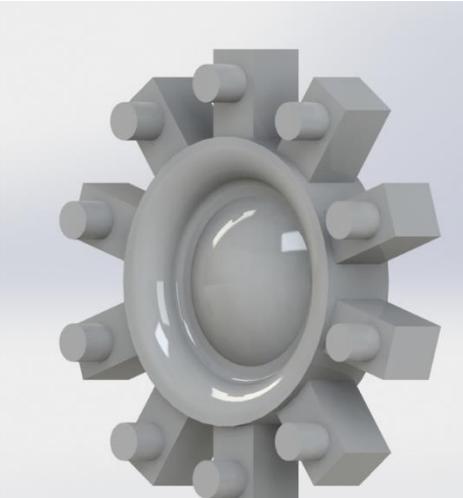
Tabla 5.8 Subsistema de luz

Isométrico	Modificación empleada
 <p data-bbox="337 737 555 768">Base de Diafragma</p>	<p data-bbox="716 363 1370 394">Seguros tipo cola de milano, con mayor área de contacto.</p> <p data-bbox="716 436 1403 499">Diseño geométrico para el desplazamiento de la palanca del diafragma de iris.</p> <p data-bbox="716 541 1328 573">Perforación para montaje del diafragma de iris DS12.</p>
 <p data-bbox="285 1211 610 1243">Disco de ajuste de diafragma</p>	<p data-bbox="716 919 1354 1024">Engrane recto con perforación en la parte superior en forma de la palanca de diafragma de iris para sujetarla y moverla.</p>
 <p data-bbox="350 1736 545 1768">Diafragma de iris</p>	<p data-bbox="716 1392 1377 1455">Modelo de Thorlabs D12S - Standard Iris, Ø12.0 mm Max Aperture.</p>

Tabla 5.9 Subsistema de lente	
Isométrico	Modificación empleada
 <p>Base de lente</p>	<p>Seguros tipo cola de milano, con mayor área de contacto.</p> <p>Perforación circular sobre la segunda circunferencia para fijar las manivelas con tornillos.</p> <p>Perforación y diseño geométrico para el montaje de la lente TSEL.</p>
 <p>Disco de ajuste de lente con postes de aluminio</p>	<p>Engrane recto con perforaciones circulares para el montaje de postes de aluminio.</p>
 <p>Eslabón</p>	<p>Perforaciones para sujetar la lente sólida elástica y unirla con disco de ajuste.</p>



Manivela Bellcrank



Lente TSEL

Perforación en la parte superior para tornillería convencional.

Reducción del área de los bordes alrededor del centro de la lente.

Reducción de longitud y ancho de abrazaderas.

Aumento de altura en postes de abrazaderas.

5.5.1 Renders del modelo optomecánico 2.1

En la fig. 5.7, se observan los renders de la propuesta final seleccionada con las modificaciones en la base que se mencionaron en el apartado anterior.

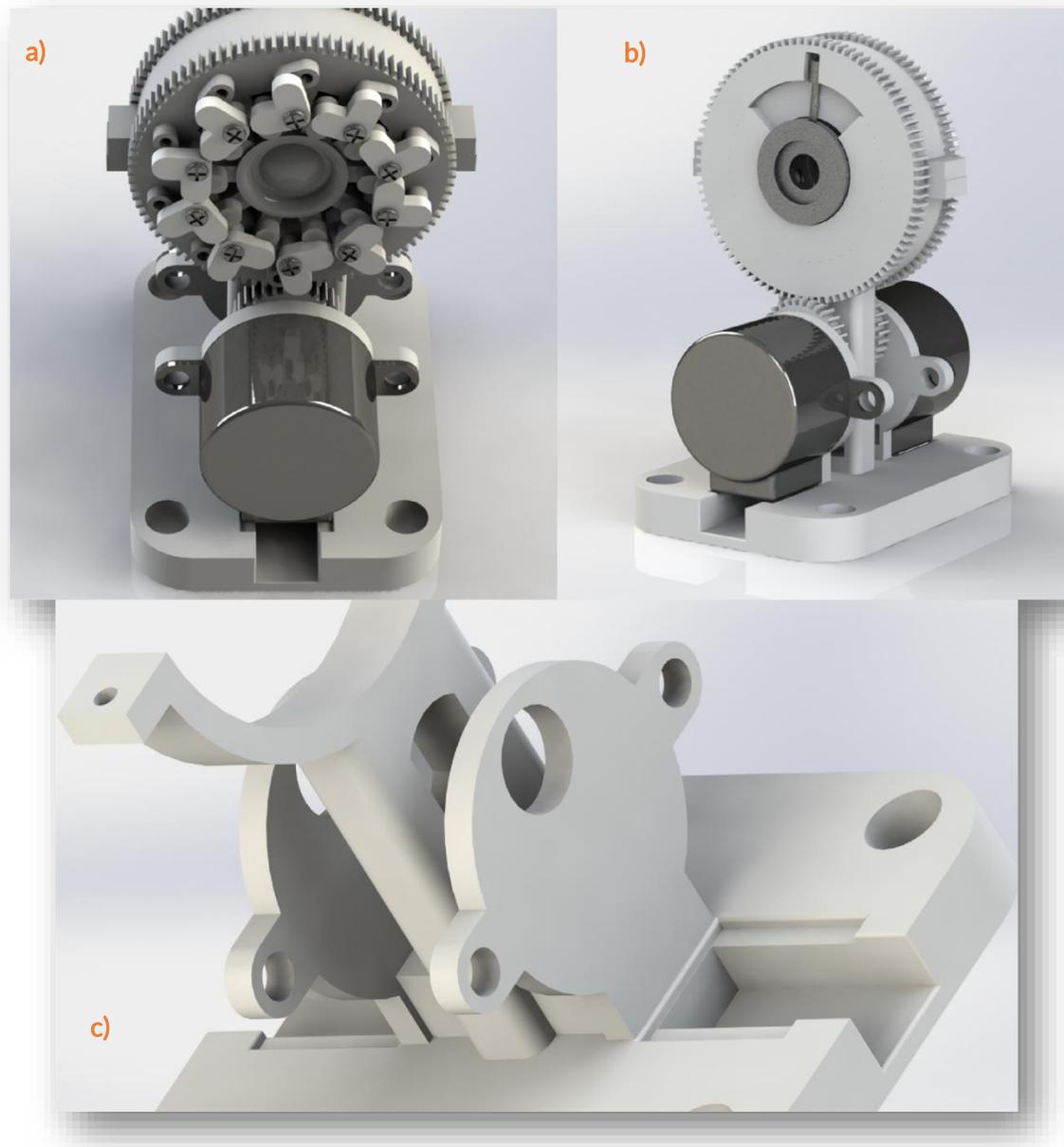


Fig. 5.18 -a) Vista superior del subsistema de lente elástica, b) Vista lateral del subsistema de luz c) Acercamiento al ensamble de la base general con el soporte de la montura y el soporte de los motores.

6.0

PRUEBAS Y

REFINAMIENTO

6.0 PRUEBAS Y REFINAMIENTO

6.1 Análisis de Elemento Finito

Es una técnica de ingeniería basada en métodos numéricos para la resolución aproximada de problemas continuos, esta técnica está basada en la discretización del dominio del problema en subdominios denominados “Elementos” (Díaz del Castillo- Rodríguez & Ferrari Mora, 2018).

Los elementos están asociados a los nodos, que son puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes y, por medio de una aproximación de los valores de una función dados a partir de un número determinado de puntos, se puede conocer el comportamiento interior de cada elemento tomando en cuenta las propiedades físicas de los materiales y los elementos del entorno. (Frías Valero, 2004)

En este capítulo se realiza un análisis mecánico de las piezas que integran al modelo para conocer su funcionamiento considerando los componentes sobre los que se ejerce esfuerzo o lo generan. Dichos componentes son la lente elástica, base de la lente elástica, discos de ajuste, eslabón y manivela bellcrank; para todos los demás elementos no es necesario realizar este análisis ya que sólo se encargan de contener las demás piezas.

Se utiliza la técnica CAD (Computer Aided Design) mencionada en capítulos anteriores, utilizando el software de Solidworks®. Así, a través de este análisis, se podrá evaluar y obtener resultados para localizar y corregir cualquier imperfección previa al proceso de fabricación.

6.1.1 Creación del estudio del análisis estático.

Para comenzar con este análisis se procede a abrir el modelo o pieza que se desea evaluar (Véase fig.6.1), y se procede a asignar las propiedades físicas del tipo de material con el que serán evaluados.

En este caso se utiliza PLA (Ácido Poliláctico) y Aluminio para las piezas, se utiliza Polidimetil Siloxano (PDMS Sylgar 184) para la lente sólida elástica. Si el material no se encuentra dentro del software es necesario agregarlo y establecer los parámetros del mismo.

Material

- > SolidWorks DIN Materials
- > solidworks materials
- > Sustainability Extras
- > Materiales personalizados
 - Plástico
 - PDMS Sylgar 184
 - PLA
 - Cristalino2
 - Cristalino

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apli

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Unidades: SI - N/m² (Pa)

Categoría: Plástico

Nombre: PDMS Sylgar 184

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: No definido Seleccionar...

Propiedad	Valor	Unidad
Coefficiente de Poisson	0.46	N/D
Módulo cortante	411000	N/m ²
Densidad de masa	982	kg/m ³
Límite de tracción	2500000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	310	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	0.256	/K
Conductividad térmica		W/(m·K)

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales con el portal web de materiales de SOLIDWORKS. Abrir... Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

Material

- > DIN Acero (Toolmaking)
- > DIN Acero (no aleado)
- > solidworks materials
 - Acero
 - Hierro
 - Aleaciones de aluminio
 - Aleaciones de cobre
 - Aleaciones de titanio
 - Aleaciones de zinc
 - Otras aleaciones
 - Plásticos
 - Otros metales
 - Otros no metales
 - Fibras de vidrio genéricas
 - Fibras de carbono
 - Silicios
 - Caucho
 - Maderas
- > Sustainability Extras
- > Materiales personalizados
 - Plástico
 - Plástico personalizado
 - PLA

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apli

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Unidades: SI - N/m² (Pa)

Categoría: Plástico

Nombre: PLA

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción: -

Origen:

Sostenibilidad: No definido Seleccionar...

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	3500000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.38	N/D
Módulo cortante	2400000000	N/m ²
Densidad de masa	1250	kg/m ³
Límite de tracción	50000000	N/m ²
Límite de compresión	66000000	N/m ²
Límite elástico	55000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.13	W/(m·K)

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales

Fig. 6.1. Propiedades del material PLA y PDMS Sylgard 184

6.1.2 Condiciones de contorno.

Para poder determinar las posibles soluciones del estudio es imprescindible establecer algunos parámetros, tales como el tipo de conexión (Si es que existe una), tipo de sujeción y las cargas externas que actúan sobre la pieza. Entonces, se explica la asignación de condiciones de contorno en cada pieza a analizar.

Lente elástica.

Para esta pieza se aplican las fuerzas radiales sobre los puntos donde se aplica el esfuerzo. La figura 6.3 muestra las fuerzas aplicadas y distribuidas de manera uniforme en color púrpura por todas las abrazaderas de la lente elástica.

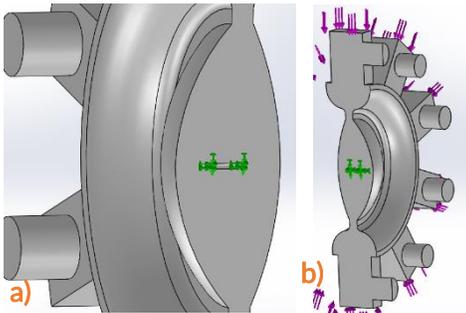


Fig. 6.2 -a) Acercamiento hacia el punto fijo de la lente, b) Corte lateral de la lente con fuerzas de tensión marcadas en púrpura.

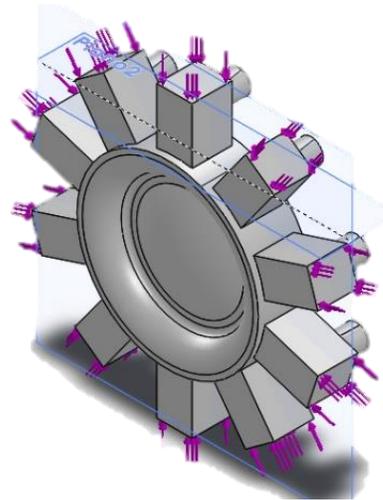


Fig. 6.3. Vista Isométrica de las fuerzas aplicadas sobre las abrazaderas de la lente TSEL.

Eslabón.

Se define geometría fija y fuerza con dirección hacia el centro de la base la lente. (fig. 6.4)

Manivela Bellcrank.

Se asignan dos condiciones, la primera se aplica sobre la perforación de la cara superior y la segunda sobre la parte inferior, que indica dos movimientos de fuerza en dirección complementaria (Fig. 6.5), es decir, cuando un poste es tirado hacia abajo el otro por inercia, gira hacia la derecha y viceversa.

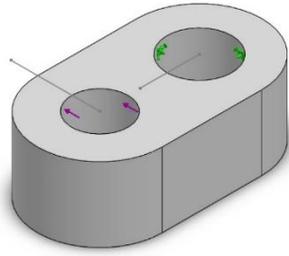


Fig. 6.4 Vista Isométrica del eslabón con la geometría y fuerzas aplicadas.

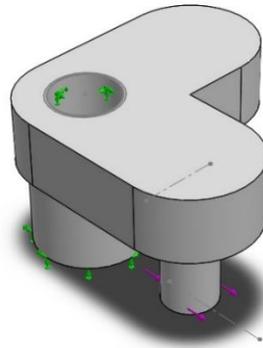


Fig. 6.5 Vista Isométrica de la manivela con la geometría fija y fuerzas aplicadas.

Base de lente

Se puede observar a través de la figura 6.6, que la base de la lente elástica presenta sujeciones de geometría fija en donde es asegurada y sobre la cara posterior. En color morado se observan las fuerzas aplicadas sobre las perforaciones dirigidas hacia el centro.

Disco de ajuste de lente

Se generan distintos tipos de condiciones geométricas para esta pieza (Fig. 6.7), la primera en color verde, está situada sobre la cara posterior del engrane, la segunda se refiere a una condición de rodillo deslizante y se ubica dentro del engrane para indicar el movimiento que realiza la base de la lente, por último, se crea un contacto de pasador entre la perforación del disco de ajuste y el poste de metal.

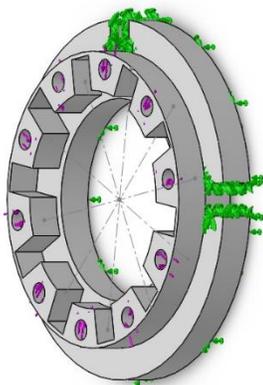


Fig. 6.6. Vista Isométrica de la base de la lente TSEL con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.

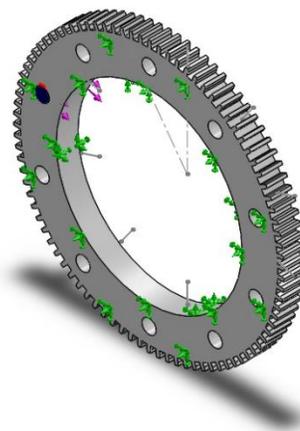


Fig. 6.7. Vista Isométrica del disco de ajuste de la lente TSEL con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.

Disco de ajuste y base de diafragma

Esta pieza representa el ensamble de dos piezas (Fig. 6.8), la primera condición, indica una sujeción de geometría fija sobre la base del diafragma donde se asegura a pieza y una condición de rodillo en la parte posterior del engrane disco de ajuste indicando que existe un movimiento. La segunda, se aplica sobre la cara donde se inserta la palanca del diafragma de iris en la dirección hacia donde se abre.

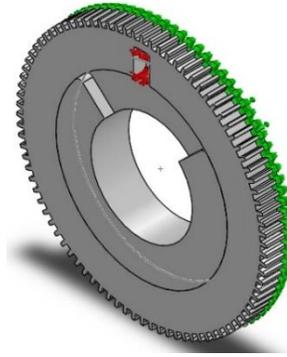


Fig. 6.8. Ensamble de la base con el disco de ajuste con la geometría fija y las fuerzas aplicadas.

6.1.3 Mallado de geometría.

El mallado de las piezas (Fig. 6.9) es un paso crucial en el análisis de diseño, ya que es en esta parte donde subdivide el modelo en partes pequeñas de forma sencillas denominadas elementos y unidas por nodos, así, el programa considera al modelo como una red de elementos interconectados (Systemes, 1995-2019)

La precisión de la solución dependerá de la calidad de la malla y esto depende de diversos factores, como la geometría de la pieza, entre más pequeña sea más exacto será el análisis, así que para la evaluación de la lente elástica se utiliza un mallado más fino en comparación con las piezas de PLA.



Fig. 6.9 Mallado de las piezas.

6.1.4 Resolución de estudio.

Después de la construcción de la malla de elementos finitos y la especificación de todas las cargas y restricciones, es posible representar de manera gráfica, el cálculo realizado. Para todas las piezas, se determinan las tensiones y los desplazamientos producidos para conocer el comportamiento de cada uno de ellos.

Para la lente elástica, se genera una malla sólida de 4 puntos jacobianos con una fuerza total de 20N estirándola en diez puntos distribuidos equitativamente, se obtuvo una tensión máxima de $3.974e+05$ N/m² y una mínima de $1.777e+03$ N/m² y un desplazamiento máximo de $9.256e+00$ mm sobre las abrazaderas en dirección de la fuerza (Fig. 6.10). Sin embargo, nos interesa el desplazamiento de color azul generado sobre el centro de la lente y que se observa en la figura 6.9, con un valor de $1.543e+00$ mm.

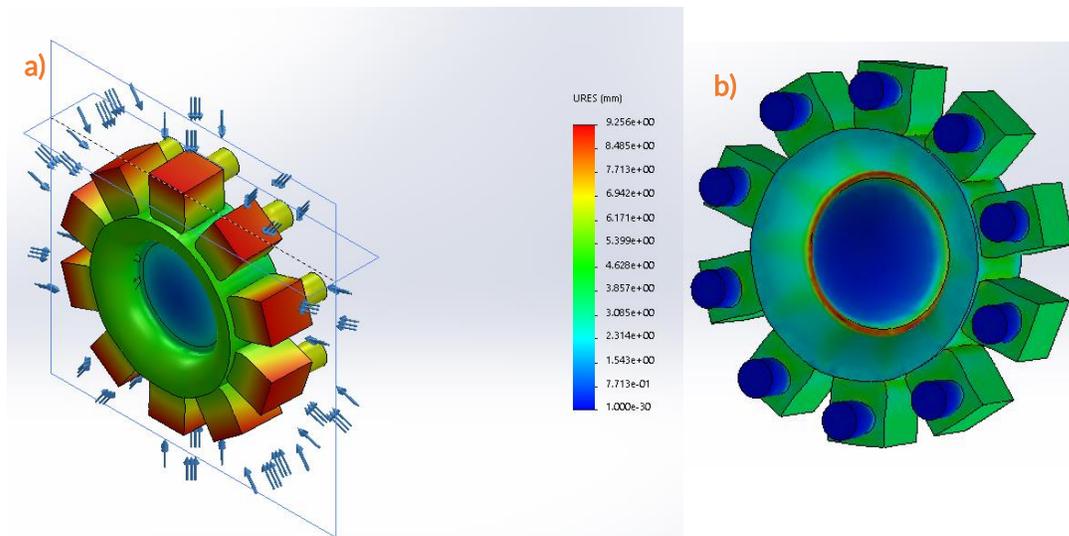


Fig. 6.10-a) Desplazamientos aplicados sobre la lente TSEL, b) Esfuerzos aplicados a la lente TSEL.

Con este cálculo se puede aplicar la fuerza máxima que soporta la lente, 2.23N por punto, siendo que, la fuerza requerida por punto es de 1.5N y con esta fuerza no existe un desprendimiento de las abrazaderas ni de los postes de sujeción.

A través de la condición de desplazamiento ejercida sobre la lente elástica se analizaron los demás componentes del optomecanismo, bajo las condiciones físicas del material PLA porque las propiedades de

resistencia son menores al ABS y como resultado los análisis mostraron que ningún componente de la montura se rompe ni se deforma permanentemente porque ninguna pieza rebasa su límite elástico.

En los eslabones, no se rebasa el límite de elasticidad teniendo un desplazamiento de .001086 mm como máximo tomando en cuenta que, aún con las tensiones aplicadas (Fig. 6.11- b), no se rebasa el límite de elasticidad lo que indica que son capaces de resistir la fuerza.

De igual forma, el desplazamiento de la manivela bellcrank es nula, con un valor de 0.0054 mm, (Fig. 6.11- c)

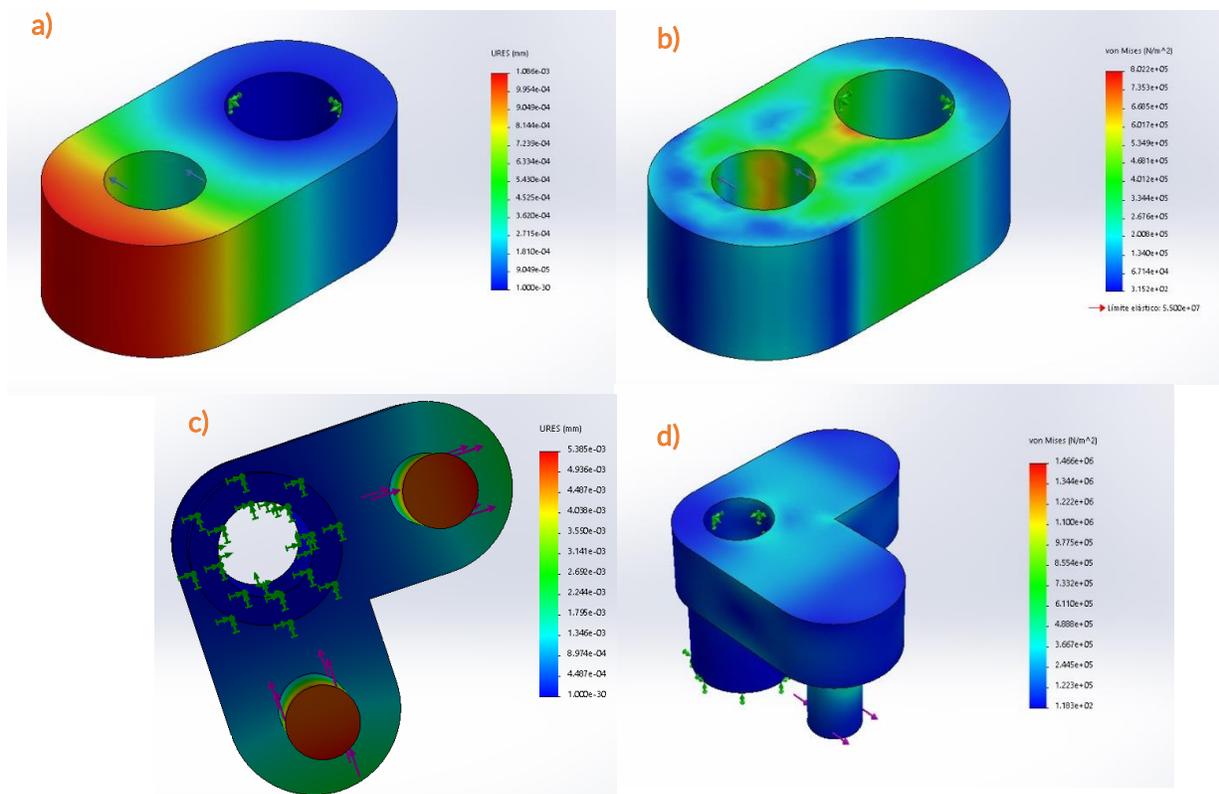


Fig. 6.11 -a) Desplazamientos aplicados sobre el eslabón, b) Tensiones aplicadas sobre el eslabón, c) Desplazamientos aplicados sobre la manivela, d) Tensiones aplicadas sobre la manivela.

Análisis de las bases y discos de ajuste.

El siguiente análisis se enfoca en la evaluación de las bases tanto del subsistema de luz como del subsistema de lente, cuando se encuentran en contacto con los elementos internos. La fuerza aplicada es la misma que se ha estado utilizando en todas las piezas, y se puede observar que los componentes resisten satisfactoriamente.

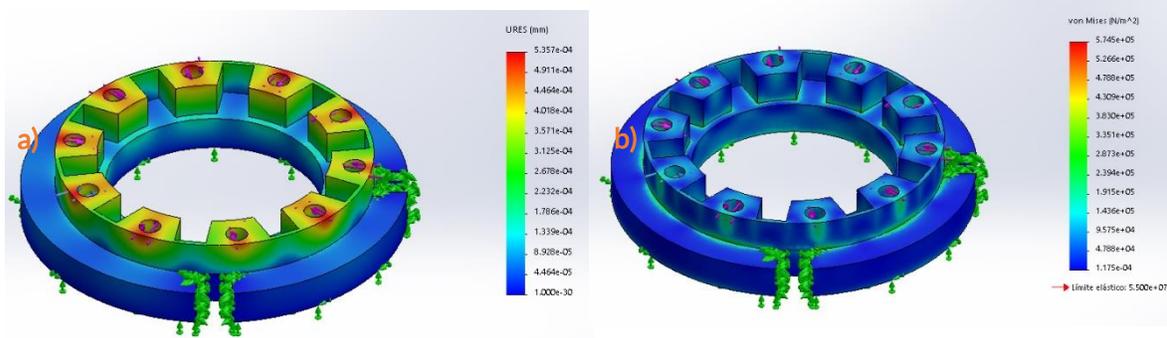


Fig. 6.12 -a) Desplazamientos aplicados sobre la base de la lente TSEL, b) Tensiones aplicadas sobre la base de la lente TSEL.

En el caso del disco de ajuste de la lente (Fig. 6.13) no existe deformación ni desprendimiento del poste de aluminio, el desplazamiento máximo que se genera es de 5.824×10^{-7} mm. Estos resultados muestran que la base resiste las fuerzas aplicadas y no se percibe desplazamiento considerable, pero si se observa que el perno presenta mayor tensión.

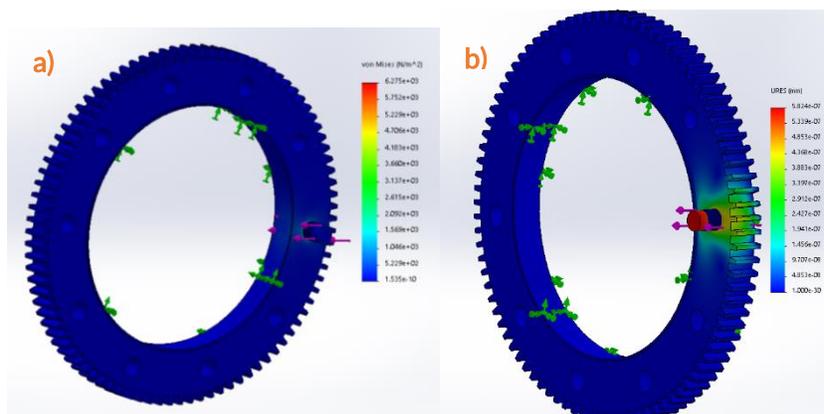


Fig. 6.13-a) Desplazamientos aplicados sobre el disco de ajuste, b) Tensiones aplicadas sobre el disco de ajuste

Para la base del diafragma y el disco de ajuste del diafragma de iris se obtienen desplazamientos mínimos como se observa en la fig. 6.14 -b, (2.017×10^{-9} mm por parte de la perforación donde se sujeta la

palanca). No es necesario evaluar la base del diafragma como elemento aislado ya que sobre esta solo se realiza un apoyo por parte de la palanca y la fuerza se aplica sobre el disco de ajuste.

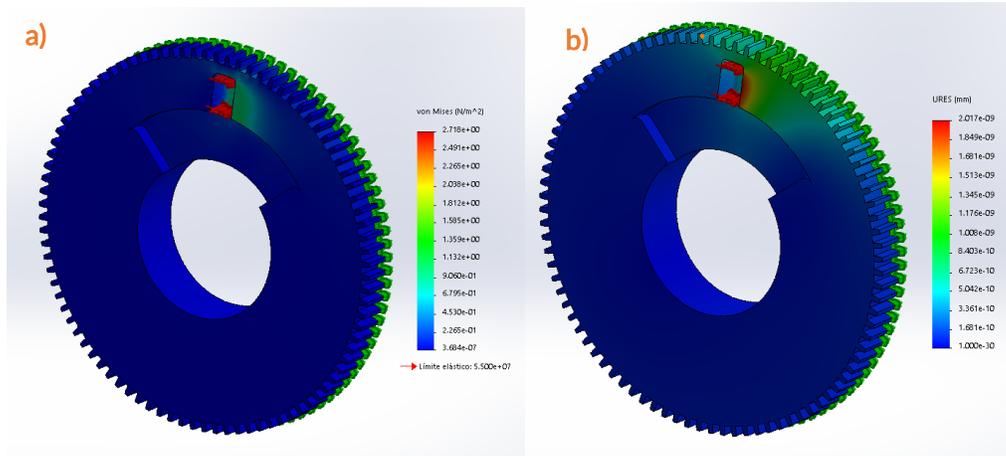


Fig. 6.14-a) Tensiones aplicados sobre el ensamble del subsistema de luz, b) Desplazamientos aplicadas sobre el ensamble del subsistema de luz.

6.1.5 Comportamiento mecánico de la lente elástica.

Este apartado está enfocado principalmente en una comparativa con los resultados obtenidos en el lente diseñado por Santiago-Alvarado (2015), en la primera figura (6.15), se realizó un análisis mecánico con una tensión distribuida uniformemente sobre las 10 abrazaderas cuando se aplica 1.5N por punto y se obtuvo un desplazamiento de $1.786e-002$ mm, mientras que en el modelo rediseñado (Fig. 6.16) se observa un desplazamiento de $1.543e+00$ mm. Lo que indica un incremento, de aproximadamente el doble, creando una mayor deformación en el centro de la lente elástica

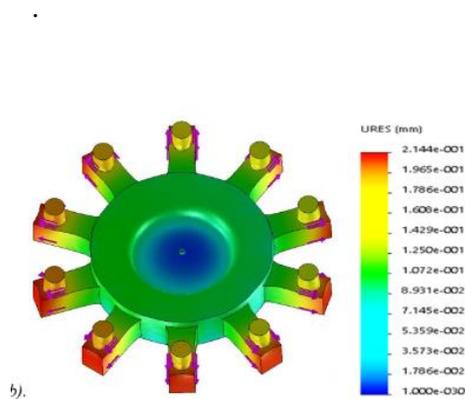


Fig. 6.15 Desplazamientos aplicados sobre el primer modelo de la lente TSEL.

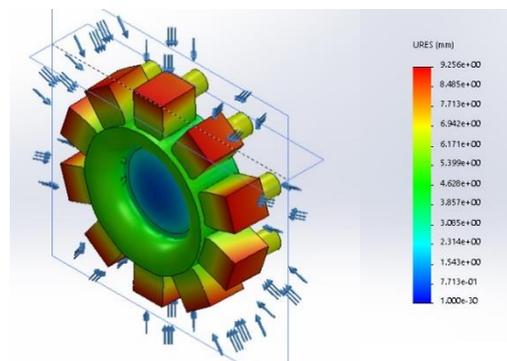


Fig. 6.16 Desplazamientos aplicados sobre el modelo rediseñado de la lente TSEL.

Cabe mencionar que se tomaron las restricciones del análisis anterior respecto al valor de la fuerza y a las caras donde se aplica, el elemento de sujeción se mantiene en ambos diseños para determinar la diferencia en los resultados obtenidos.

Entonces, se puede concluir en este capítulo que los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos son positivos y convincentes, y por consiguiente se puede tener la certeza que los resultados del rediseño de la montura optomecánica de este proyecto cumple con todos los requerimientos.

Terminada la ejecución de los análisis y resultados de las piezas diseñadas, se procede a elaborar el modelo optomecánico, así como la lente elástica y su respectivo molde.

6.2 Manufactura de piezas

Para el desarrollo de las piezas se utilizará la maquinaria y equipo disponible en el laboratorio de manufactura avanzada y el laboratorio de posgrado de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

6.2.1 Molde de lente elástica.

Los moldes fueron fabricados en el laboratorio de manufactura avanzada con la fresadora CNC, se pulieron manualmente con ayuda de la herramienta manual rotatoria de velocidad variable y sus respectivos accesorios, se utilizaron distintos abrasivos para el pulido de superficie removiendo el exceso con ayuda de aire comprimido.



Fig. 6.17 Molde anterior (superior), molde actual (Inferior).

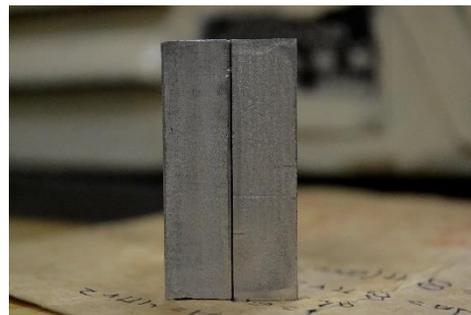


Fig. 6.18 Vista lateral del molde cerrado.

6.2.2 Manufactura de la lente elástica.

Se fabricaron un total de 5 lentes elásticas, en el proceso se utilizó un vaso de precipitado que se debe tarar sobre la balanza electrónica OHARUS® modelo AX423/3; posteriormente se eligen los parámetros de síntesis 10:1.25 (Base polimérica - catalizador) de acuerdo las proporciones establecidas en el artículo de (Marquez-Garcia, Cruz-Félix, Santiago-Alvarado, & González-García, 2017) (10 g base SYLGARD 184 Silicone elastomer base x 1.25 Catalizador SYLGARD 184 Silicone elastomer curing agent).

En la figura 6.20, se observa el vaso de precipitado sobre la balanza, posteriormente se emplea un agitador para mezclarlos en forma de espiral, se deja reposar por treinta minutos para que las burbujas desaparezcan y se vierte en el molde mostrado en la figura, para darle la forma que se desea a elemento PDMS.

Una vez dentro del molde, se deja reposar la mezcla por 1 hora más y se procede a introducir el molde dentro de una mufla eléctrica para que el polímero pueda ser curado a una temperatura de 150° durante un tiempo aproximado de 25 minutos, el molde se sustrae de la mufla y se deja reposar a temperatura ambiente.

Concluido el reposo se separa el molde y se retira el material excedente de la lente de PDMS cuidadosamente para evitar rupturas.



Fig. 6.19 Herramientas para la fabricación de la lente elástica.



Fig. 6.20 Balanza OHARUS®



Fig. 6.21 Horno eléctrico



Fig. 6.22 Lente experimental de PDMS

El proceso de producción se realizó eficientemente arrojando un total de cuatro lentes de PDMS (Fig. 6.22) con la calidad adecuada para realizar las pruebas.

6.2.3 Manufactura de la montura optomecánica

Una vez definida la arquitectura de las piezas de la montura optomecánica, se exportan en archivo .STL ya que este formato es compatible para su fabricación en una impresora 3D.

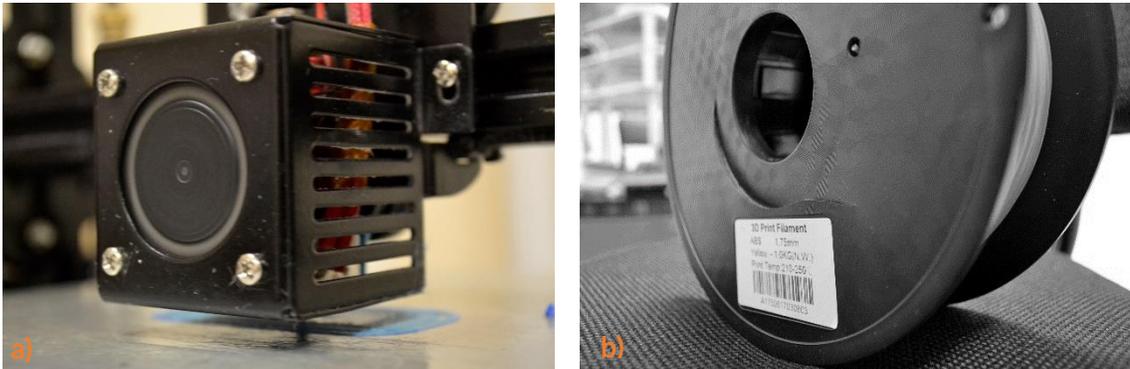


Fig. 6.23 –a) Proceso de extrusión de material, b) Rollo de Filamento de PLA.

Los parámetros de calidad de impresión se establecen de acuerdo a la tabla 6.1 tomando como referencia el apartado de Tolerancias del capítulo 2, la zona indica en que parte de las piezas es aplicada la tolerancia y se especifica en los planos de construcción.

Tabla 6.1 Tolerancias de las piezas del modelo optomecánico 2.1			
Nombre de la pieza	Tipo de perfil	Zona	Tolerancia
Base General	Estándar	Ensamble	+0.50
			+0.05
Piñón	Estándar	Diámetro interior	+0.50
			+0.05
Soporte A	Estándar	Ensamble	+0.50
			+0.05
Soporte B	Estándar	Seguros	+0.50
			+0.05
Soporte de motores	Estándar	Ensamble	+0.50
			+0.05
		Ensamble	+0.040
			+0.10
Base del diafragma	Estándar	Diámetro interior	+0.040
			+0.10
			+0.10

Disco de ajuste del diafragma	Estándar	Díámetro exterior	-0.20
		Ensamble	-0.65
Base de la lente	Estándar	Díámetro interior	+0.040
		Díámetro exterior	+0.10
Disco de ajuste de la lente	Estándar	Díámetro interior	-0.20
		Ensamble	-0.65
Manivela	Estándar	Díámetro interior	+0.040
		Díámetro exterior	+0.10
Eslabón	Estándar	Díámetro interior	-0.30
		Ensamble	-0.55
			+0.040
			+0.10

El material utilizado fue PLA, en la figura 6.23, se puede observar el proceso de extrusión de material junto con el rollo de filamento y, en la figura 6.24 el modelo ensamblado.

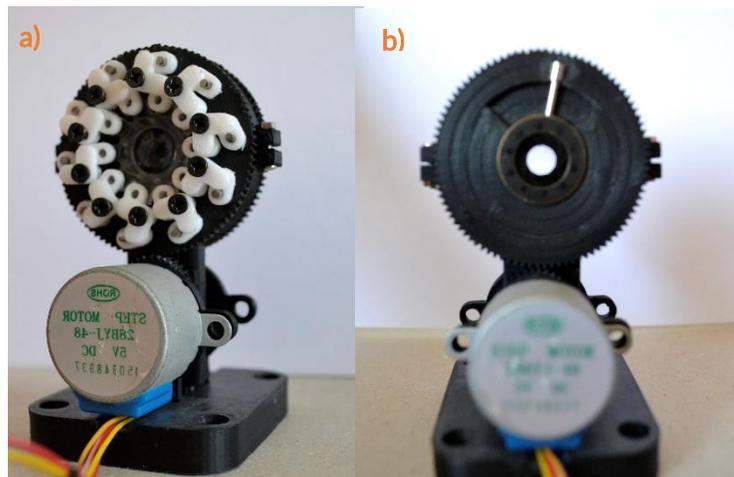


Fig. 6.24 -a) Ensamble del subsistema de lente elástica, b) Ensamble del subsistema de luz.

Se presentaron problemas técnicos al momento de ensamblar las piezas debido a una mínima expansión de volumen en algunas de las piezas aun cuando se consideraron tolerancias, también la precisión del sistema de sujeción no fue homogénea en todos los postes debido a que se generó esta expansión en dos eslabones.

En la impresión del segundo prototipo se contemplaron estos aspectos para no cometer los mismos errores y tener en cuenta las variaciones técnicas de impresión

6.3 Comparativa de modelos optomecánicos

El objetivo general de este trabajo de tesis fue orientado al rediseño de un optomecanismo ya existente y una manera de confirmar que el rediseño ha sido exitoso, es a través de la comparación directa de los modelos optomecánicos En esta sección se hace una comparación entre el desempeño del prototipo manufacturado 2.1 con respecto al prototipo cero.

Con el fin de comprobar si el rediseño del prototipo cero optomecánico es satisfactorio se realiza una comparativa de este modelo con respecto a la propuesta rediseñada utilizando como criterios de evaluación la matriz de comparación de métricas elaborada en el capítulo 3.

# de métrica	Métrica	Importancia	Unidad	Prototipo cero optomecánico	Modelo optomecánico 2.1	Optimización
1	Peso	3	g	168	120	-48grs
2	Tamaño del sistema	5	cm	10cm x 8.9cm	5cm x 7.9cm	-5cm x -1cm
3	Fuerza máxima en puntos de carga	5	N	15 N	23 N	+8N
4	Puntos de transmisión de fuerza	5	#	10	10	----
5	Entrada de luz	5	∅	No existe	12mm	+12mm
6	Cantidad de componentes	3	#	15	12	-3 componentes
7	Tiempo mínimo en desinstalar una lente	4	Min	5 min	3 min	-2 min
8	Tiempo mínimo en instalar una lente de repuesto	4	Min	5 min	3 min	-2 min
9	Tiempo mínimo en desinstalar un sistema de luz	4	Min	No aplica	1 min	1 min
10	Tiempo mínimo en instalar un sistema de luz de repuesto	4	Min	No aplica	2 min	2 min
11	Tiempos para montaje	2	S	10 min	5 min	-5 min
12	Volumen	3	cm ³	89 cm ³	39.5cm ³	-49.5 cm ³

Dentro de la tabla 6.2, se muestra la diferencia de valores en los prototipos; los valores negativos y positivos permiten conocer que tanto se redujo y que tanto se mejoró el modelo respecto a las métricas establecidas.

6.3.1 Comparativa del desempeño óptico de la Lente elástica

Con respecto del subsistema lente, se realizó una prueba de funcionalidad en donde se corrobora que, en efecto, el mecanismo 2.1 realiza la función deseada que es, la de aplicar esfuerzo radial en forma de tensión y de compresión para simular el proceso de acomodación que realizan los músculos ciliares sobre el cristalino del ojo humano.

La prueba realizada consistió en activar el mecanismo mediante el sistema de control electrónico el cual aplicó un esfuerzo radial que fue convertido a esfuerzo lineal mediante un sistema de manivelas hacia los eslabones de la lente de PDMS.

Una vez que se activó el sistema, se presentó cierta deformación sobre los radios de curvatura en ambas superficies de la lente, que a su vez afectaron el tamaño de los objetos que pasan a través de la lente. En la figura se muestra la comparación directa entre las imágenes capturadas de una carta de resolución a través de una cámara CCD de ambos prototipos.

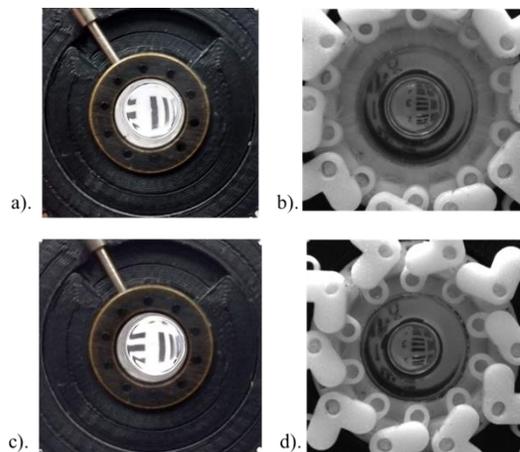


Fig. 6.25 Imágenes tomadas de ambos prototipos en donde se aprecia el cambio de longitud transversal de barras de resolución de un blanco colocado a una cierta distancia. a) y b) Cuando se aplica un esfuerzo de tensión; c) y d) cuando se aplica un esfuerzo de compresión sobre la lente.

La tabla 6.3, muestra las longitudes transversales de ambos modelos de lente elástica presentado en las barras de resolución cuando se aplican esfuerzos de tensión y compresión en los prototipos cero y modelo optomecánico 2.1.

A continuación, en la tabla 6.3 se muestran los valores obtenidos directamente de la medición de pixeles de cada una de las imágenes (ver Fig. 6.25) y se presenta la diferencia porcentual de ambos casos.

Tabla 6.3 Comparación del cambio de longitud transversal			
Esfuerzo	Prototipo		Diferencia %
	2.1 [mm]	Cero [mm]	
Tensión	5.44	3.15	42.09
Compresión	4.71	2.52	46.92

Se puede observar de los valores obtenidos de la tabla 6.3 que el modelo optomecánico 2.1 realiza una deformación sobre los radios de curvatura de la lente más amplia que la que realiza prototipo cero, y esto se debe a las modificaciones del rediseño que se hizo tanto a la lente elástica como al subsistema de luz. Esto ofrece un mayor rango en términos de la longitud focal de la lente para que pueda enfocar objetos a diferentes distancias.

6.3.2 Comparativa del desempeño del Subsistema de luz

En lo que respecta al subsistema de luz cabe mencionar que el prototipo cero no cuenta con el sistema que regula la entrada de iluminación (matriz de aletas) al sistema físico que se observa en los modelos digitales, como se puede observar en la figura 6.26.

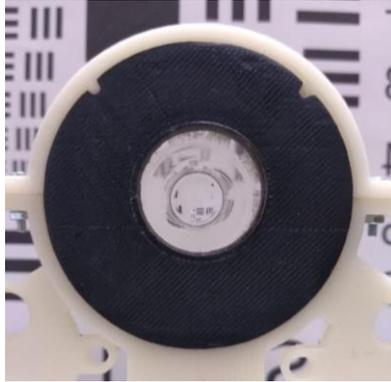


Fig. 6.26 Lado frontal del Prototipo Cero (Subsistema de luz)

Por lo que se considera que el modelo optomecánico 2.1 cumple con la función de control de entrada de luz cuando existe este elemento en el sistema y realiza el movimiento de cierre-apertura (Fig. 6.27) para un diámetro 10mm (Medida del centro de la lente elástica).

Se realizaron pruebas a diferentes velocidades de apertura, manejadas desde el control electrónico, y el sistema permaneció sin sufrir algún desgaste notorio, por lo que se puede inferir que el diafragma comercial DS12 es resistente y funcional y, el rediseño aplicado al subsistema de luz es exitoso soportando estas velocidades de apertura y controlando el funcionamiento del elemento comercial de manera satisfactoria.

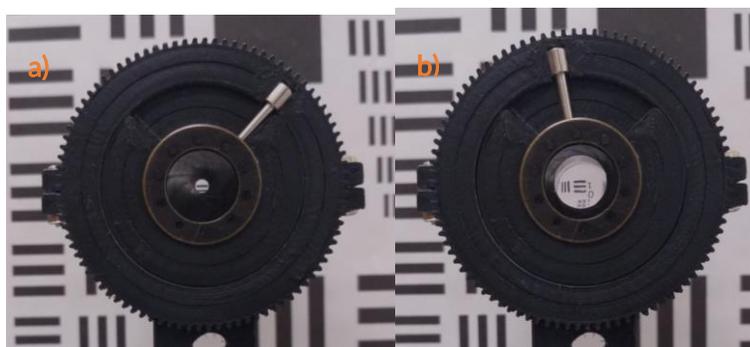


Fig. 6.27 -a) Diafragma cerrado, b) Diafragma abierto.

En conclusión, se puede observar que el modelo optomecánico se desempeña como se esperaba, así como la deformación de imágenes, el cambio de curvatura de la lente y la apertura y cierre del diafragma.

7.0

CONCLUSIONES

7.0 CONCLUSIONES

El desarrollo de este sistema partió de la necesidad de poder mejorar el desempeño de un prototipo optomecánico que incluye un subsistema de lente elástica y un subsistema de luz que funcionan de manera independiente, para ser aplicados como modelo artificial del ojo humano.

Dentro de este trabajo de rediseño se emplearon diferentes tipos de herramientas de análisis y evaluación con el fin de especificar las fallas del rendimiento del sistema que no permitían obtener el resultado esperado por el usuario.

La metodología utilizada (Ulrich & Eppinger, 2013), permitió conocer las necesidades del usuario y las suposiciones básicas de su construcción; la implementación de métodos estructurados utilizados en el capítulo 3, “Desarrollo del producto” (Diagramas funcionales del sistema y diagramas aislados de los subsistemas)”, posibilitó el avance del desarrollo del proyecto con decisiones fundamentadas; de igual forma fue posible identificar y clarificar problemas y oportunidades de mejora en el prototipo cero.

Mediante el análisis geométrico y funcional, fue posible desglosar la arquitectura del producto obteniendo un antecedente para el desarrollo de este tipo de sistemas, ya que no se tenía ningún dato escrito del prototipo cero más allá de los modelos digitales y la parte posterior del sistema fabricada en ABS. El uso de las herramientas mencionadas anteriormente y la adquisición de un diafragma de iris comercial hizo posible reducir el número de componentes y el número de pasos para la activación del sistema sin afectar el desempeño de las funciones principales.

Gracias a la modificación de parámetros geométricos de la lente TSEL, se logró que la curvatura sufriera una modificación de aproximadamente el doble de desplazamiento en comparación con el diseño de la lente anterior (Tabla 6.3) utilizada en el prototipo cero, como se puede observar en las figuras 6.15 y 6.16. El aumento del desplazamiento produjo una diferencia considerable en la deformación de la imagen.

A partir del análisis estático realizadas se conoció el comportamiento interior de las piezas con las propiedades del material con el que se manufacturaron y así poder predecir cómo reaccionará el modelo ante

las fuerzas aplicadas. Se comprueban los resultados de este análisis mediante los resultados de las pruebas funcionales de la lente TSEL.

Cabe mencionar que derivado de la realización de este proyecto, fue posible asistir y participar en la categoría de poster en el congreso "SPIE Optics+Photonics 2016", San Diego, California y también impartir una ponencia en el congreso Innovation Match 2017, México obteniendo como resultado un reconocimiento de la propuesta #2 a mejor diseño innovador.

7.1 Trabajo a futuro

Aunque el trabajo presentado es extenso y después del rediseño del modelo optomecánico, se detectaron algunos puntos que se pueden perfeccionar los cuáles se pueden agrupar mediante:

- **Optimización del control electrónico.** Explorar sistemas de control electrónico que faciliten la activación del mecanismo.
- **Patente.** Realizar la patente de este trabajo obteniendo los derechos del modelo optomecánico en cuestión debido a que la producción de este tipo de mecanismo es escasa en la ciudad de Oaxaca, se hace también con la intención de poner a disposición del público la información técnica relativa a la invención.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.

- Águeda Casado, E., Navarro, J., & Gómez Morales, T. (2011). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. España: Editorial Paraninfo.
- Arianpour, A., Tremblay, E., Stamenov, I., Ford, J., Schanzlin, D., & Lo, Y. (2013). An Optomechanical Model Eye for Ophthalmological Refractive Studies. *Journal of Refractive Surgery*, 29(2).
- Barrero, A. (07 de 06 de 2006). *Xoyaz*. Obtenido de <http://www.xoyaz.com/disenio/el-disenio-con-arte-ciencia-y-tecnologia.html>
- Berchon, M. (2014). *La impresión 3D. Guía para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales y manitas en general*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili, SL.
- Bicharra García, A., Kunz, J., Fischer, M., & Gomes Pinto García, M. (s.f.). Cómo dejar atrás esas reuniones eternas. *Harvard Business Review*, 46-52.
- Capi, F., Frediani, G., Turco, S., & De Rossi, D. (2011). Bioinspired Tunable Lens with Muscle-Like Electronic Elastomers. *Advanced Functional Materials*, 4152-4158. Obtenido de www.afm-journal.de
- Castillejos Reyes, V. (2012). *Análisis de ingeniería de sistema de sujeción de una lente sólida elástica a una montura mecánica*. Oaxaca de Juárez: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Choi, J.-M., Son, H.-M., & Lee, Y.-J. (2009). Biomimetic variable-focus lens system controlled by winding-type SMA actuator. *Optics Express*, 17(10), 8152-5164. doi:10.1364.OE.17.008152
- Clarkson, J., & Huhtala, M. (2005). *Engineering Design, Theory and practice*. Cambridge, UK.: Engineering Design Centre · University of Cambridge · UK.
- Díaz del Castillo- Rodríguez, F., & Ferrari Mora, D. (01 de 2018). *Metodo del Elemento Finito y AutoFEM*. México, Cuautitlán Izcalli, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frías Valero, E. (2004). *Aportaciones al Estudio de las Máquinas Eléctricas de Flujo Axial ME mediante la Aplicación del Método de los Elementos Finitos*. Catalunya, Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- G. Budynas, R., & Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Gillam Scott, R. (1967). *Fundamentos del diseño*. Buenos Aires, Argentina: Victor Lerú S. A.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Prentice hall.
- Hernández Echeverría, Y. (2016). *Desarrollo de un sistema mecánico para manipular una lente sintonizable sólida elástica por compresión*. Oaxaca de Juárez, México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- ISO. (2019). *Organisation Internationale de Normalisation* . Obtenido de <https://www.iso.org/standard/3942.html>

- Joachin Bolaños, C. V. (2016). *Unidad de Apoyo Para el Aprendizaje*. Obtenido de https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/166/mod_resource/content/1/la-creatividad/index.html
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., & Ballard, G. (2006). A guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. *CIFE(093)*, 3-41.
- Krar, F., & Steve. (2002). *Tenología de las máquinas-herramientas*. México: AlfaOmega.
- L. Norton, R. (2000). *Diseño de Maquinaria* (Cuarta Edición ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Lee, K. (1999). *Principles of CAD/Cam/ CAE Systems*. Addison- Wesley Longman Publishing.
- Leon-Sarmiento, F., Prada, D., & Gutierrez, C. (2008). Pupila, pupilometría y pupilografía. *Acta Neuro Colomb*, 24, págs. 188-197. Santa Fé Bogotá, Colombia.
- Liang, D., Wang, X.-Y., & Du, J.-W. (26 de 06 de 2015). Bioinspired solid-liquid mixed tunable lens with multilayered structure. *Optical Engineering*, 54. doi:10.1117/1.OE.54.6.065104
- Marquez-Garcia, J., Cruz-Félix, A., Santiago-Alvarado, A., & González-García, J. (26 de 10 de 2017). Characterization of PDMS samples with variation of its synthesis parameters for tunable optics applications. *Proceedings of SPIE*, 10372, 1-6. doi:10.1117/12.2274638
- Meneses Fernández, F., & Jiménez Ceciliano, P. (03 de 2015). Motores y servomotores. (T. d. Rica, Ed.) Costa Rica. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/258626289/Motores-a-Pasos-y-Servomotores>
- Naranjo Robledo, M. (Junio de 2015). Impresión 3D aplicada a la optomecánica. Madrid, España .
- Ortega, S. (22 de 02 de 2016). *Sergio Ortega*. Obtenido de www.sortega.com/blog/disenyo-y-redisenyo/
- Puell Marín, M. C. (06 de 02 de 2014). Óptica fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de https://eprints.ucm.es/14823/1/Puell_Óptica_Fisiológica.pdf
- Rinker, T. (04 de 05 de 2014). The treatment of likert data. New York: University at Buffalo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262011454_Likert
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (06 de 2006). Diseño asistido por computador. (U. N. Marcos, Ed.) *Diseño y Tecnología*, 6-15.
- Santiago Alvarado, A., & Vázquez Montiel, S. (24 de 09 de 2019). Propiedades físico-químicas de membranas PDMS empleadas en lentes líquidas. *Sociedad Mexicana de Ciencias y Tecnología de Superficies y Materiales*, 22(3), 61-66.
- Santiago-Alvarado, A., Cruz-Félix, A., Hernández-Méndez, A., Pérez-Maldonado, Y., & Domínguez-Osante, C. (2015). Design and characterization of a tunable opto-mechatronic system to mimic the focusing and the regulation of illumination in the information of images made by the human eye. *Spie Digital Library*, 1-8.

Santiago-Alvarado, A., Vázquez-Montiel, S., González-García, J., Iturbide-Jiménez, F., Cruz-Félix, A., Cruz-Martínez, V., . . . Castro-González, G. (31 de 03 de 2015). Advances in the Development of tunable lenses in México. *Photonics Letters of Poland*, 7(1), 20-23. doi:10.4302/plp.2015.1.08

Schuhladen, S., Petsch, S., Liebertraut, P., Müller, P., & Zappe, H. (15 de 10 de 2013). Miniaturized tunable imaging system inspired by the human eye. *Optics Letters*, 38(20), 39991-39994.

Systemes, D. (1995-2019). *Solidworks*. Obtenido de <http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Fundamentals/Meshing.htm>

THORLABS. (1999-2019). *Thorlabs, Inc. (US)*. Obtenido de <https://www.thorlabs.com>

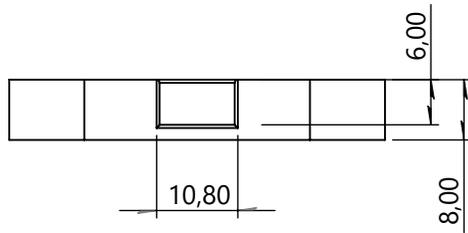
Torres, J. C., & Cano, P. (2005). *Diseño asistido por ordenador*. Obtenido de Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos: <https://lsi.ugr.es/lsi/>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta Edición ed.). México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.

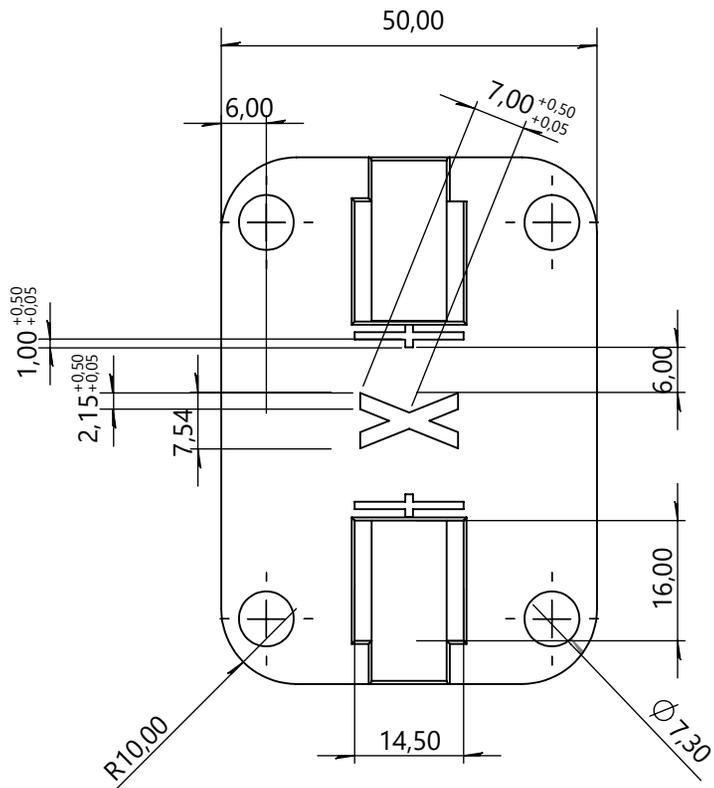
Willey, R., & Parks, P. (1999). *Optical Fundamentals*. Anees Ahmad.

ANEXOS

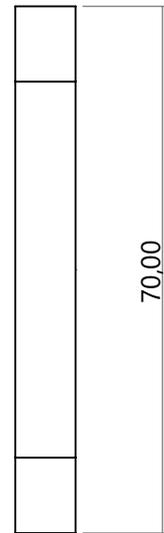
ANEXOS



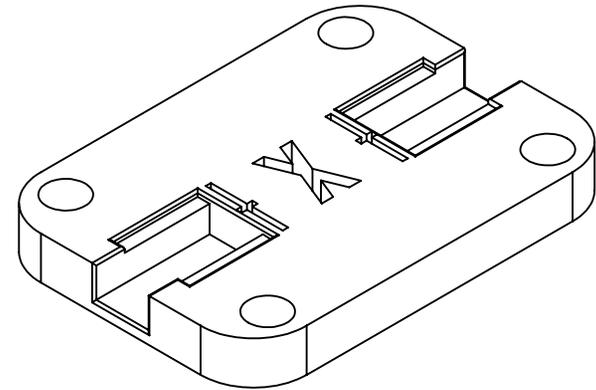
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-01

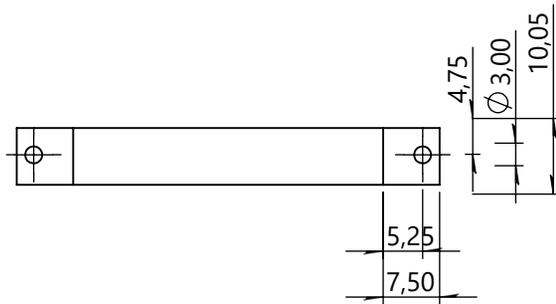
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

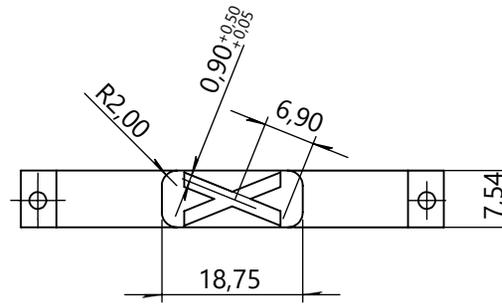
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 1:1	TOLERANCIA: +0,50 +0,05	HOJA: 1 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------------	------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

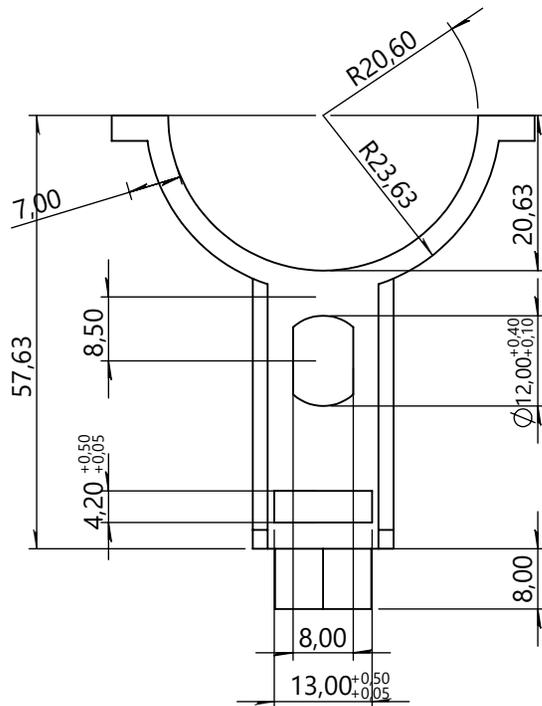
NOMBRE DE PIEZA:
Base principal (01)



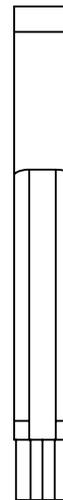
VISTA SUPERIOR



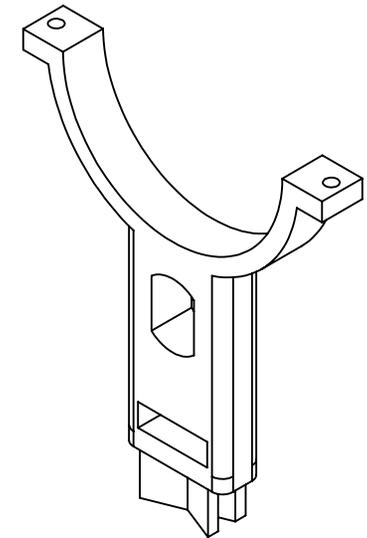
VISTA POSTERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-02

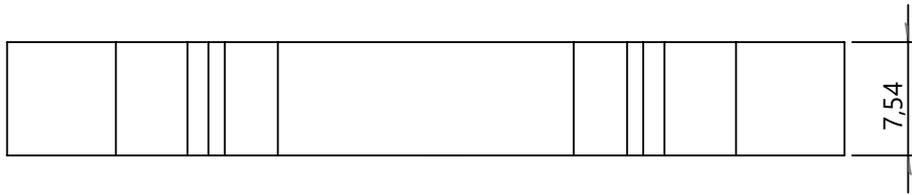
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

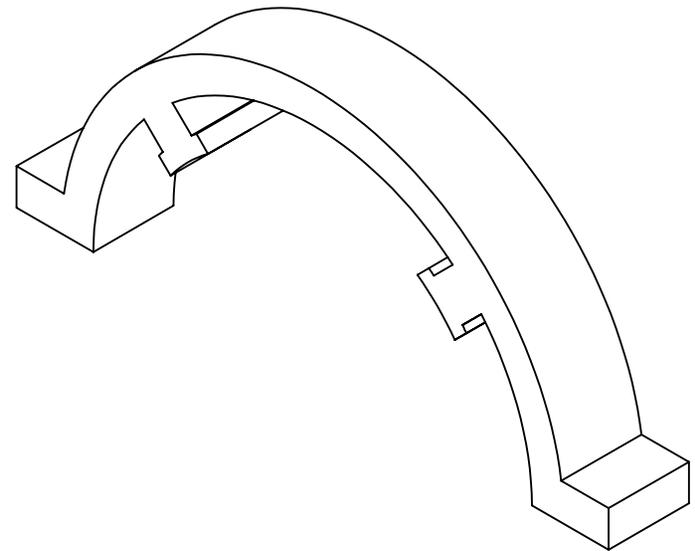
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 1:1	TOLERANCIA: +0,50 +0,05	HOJA: 02 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------------	-------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

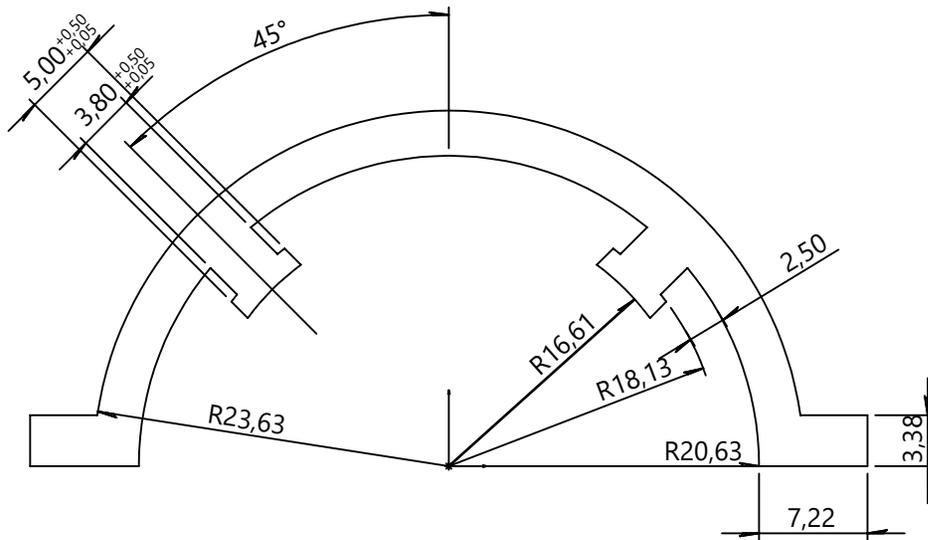
NOMBRE DE PIEZA:
Soporte A (02)



VISTA SUPERIOR

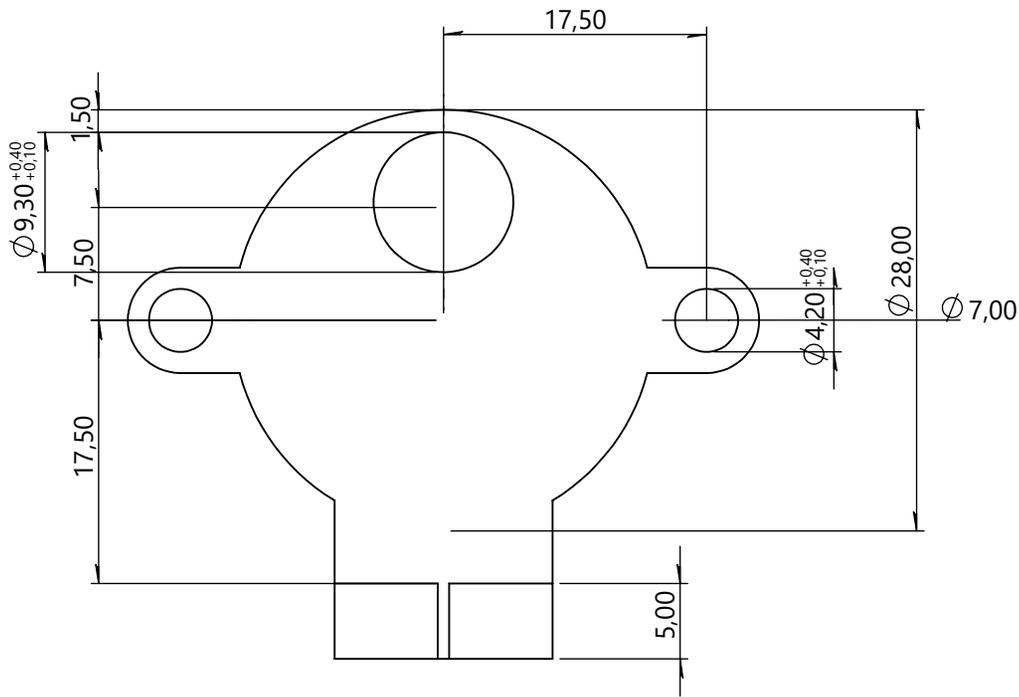


ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL

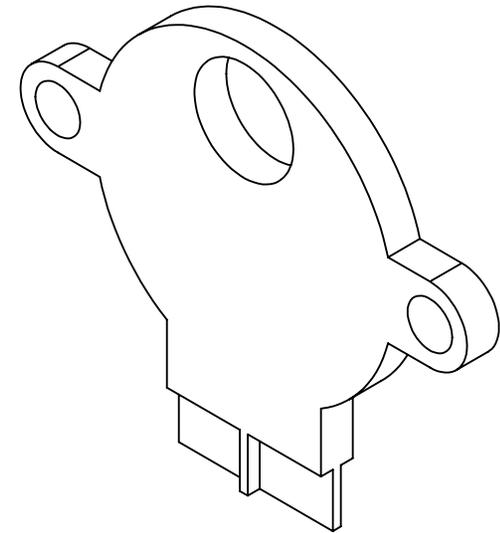
		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PL-03	
PROYECTO DE TESIS		TÍTULO: Rediseño de componentes para aplicación en ciencias visuales			
ACOTACIÓN:	FECHA DE ELABORACIÓN:	ESCALA:	TOLERANCIA:	HOJA:	
mm.	05.08.2019	2:1	+0.50 +0.05	3 DE 14	
DIBUJANTE:			NOMBRE DE PIEZA:		
MIROSLAVA LEYVA PACHECO			Soporte B (03)		



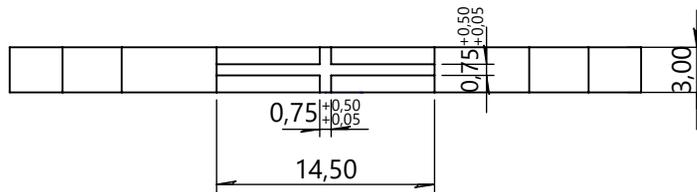
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



VISTA POSTERIOR



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-04

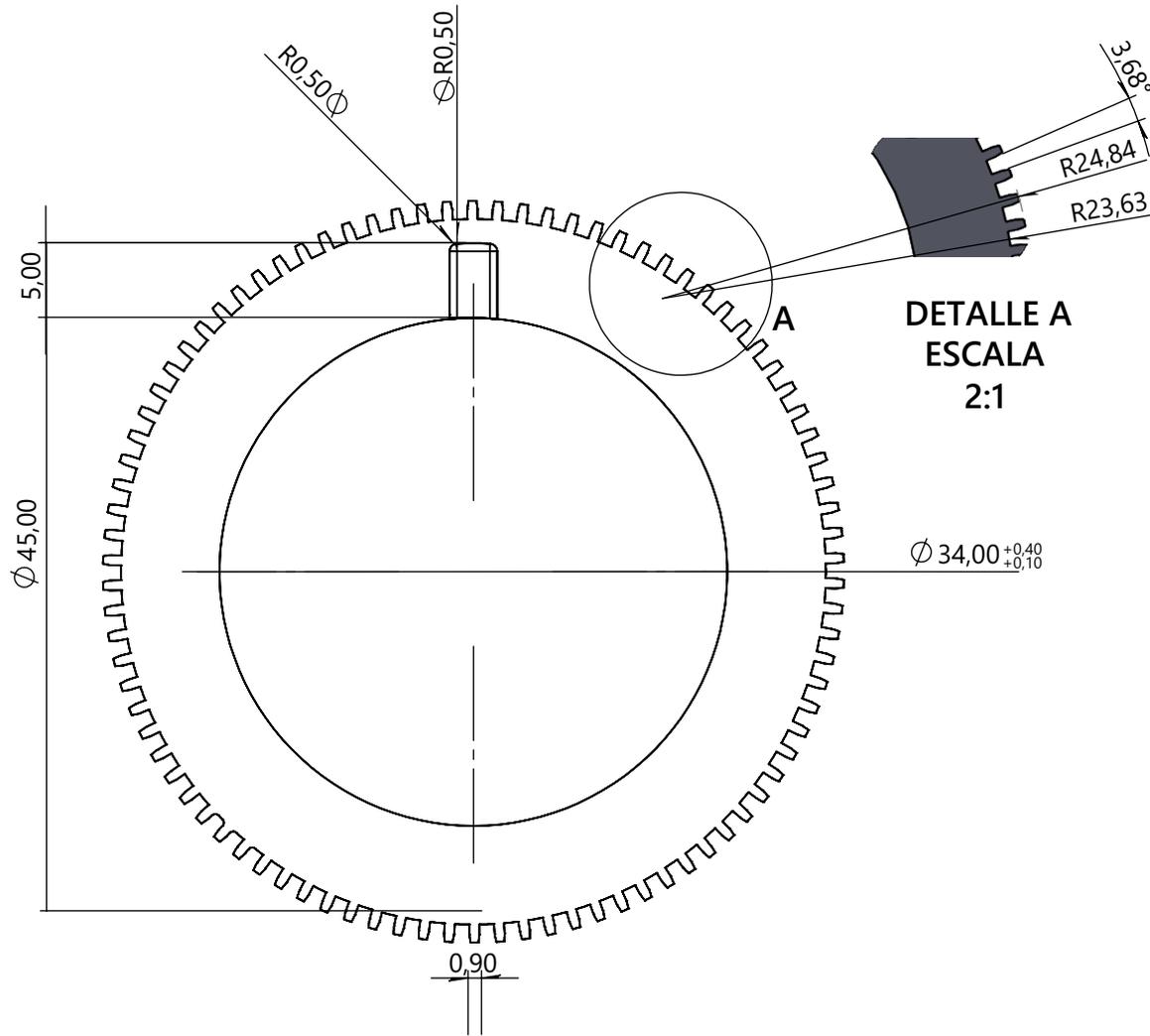
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 2:1	TOLERANCIA: Varias	HOJA: 4 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-----------------------	------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

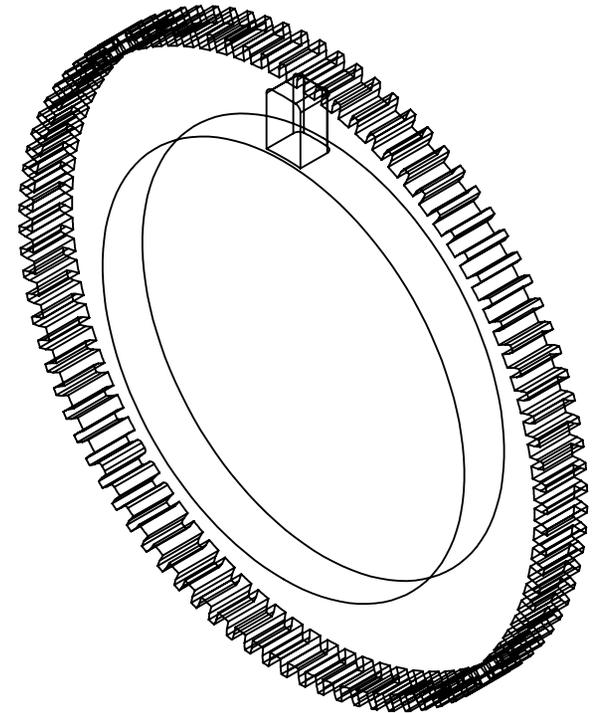
NOMBRE DE PIEZA:
Base motor (04)



VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-05

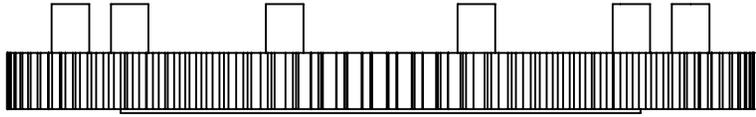
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

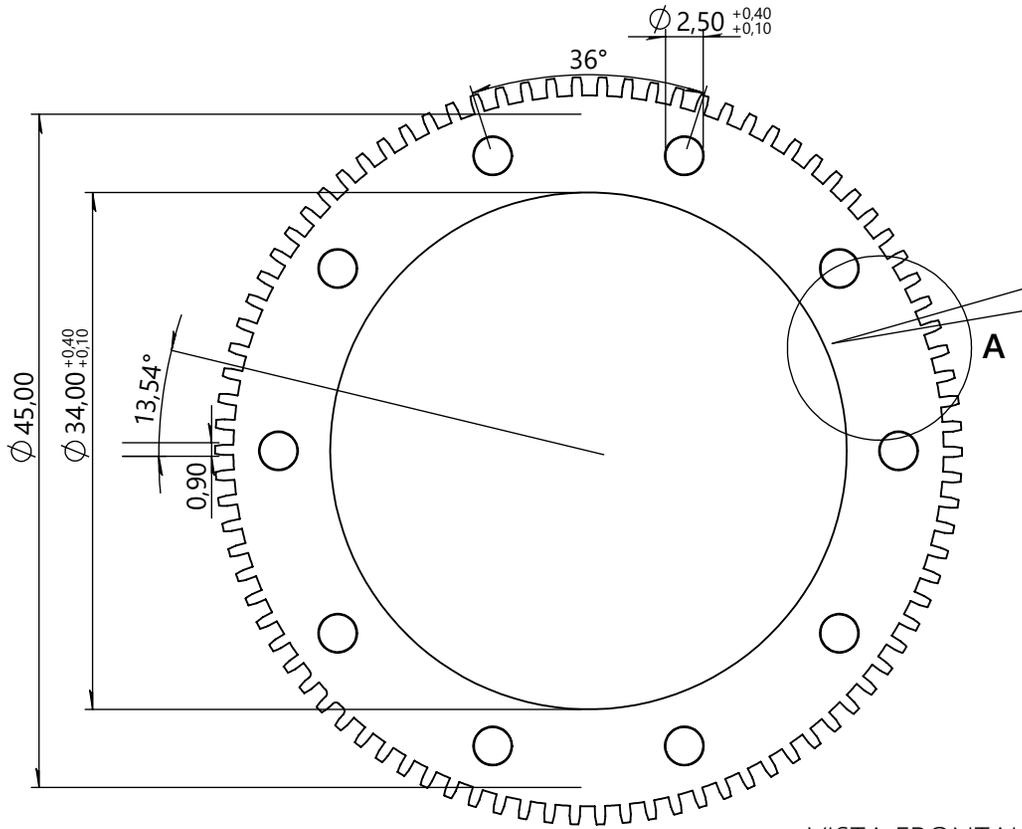
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 2:1	TOLERANCIA: +0,40 +0,10	HOJA: 5 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------------	------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

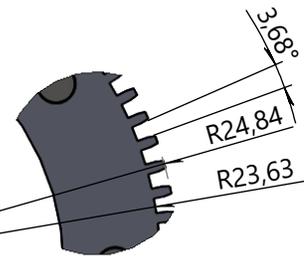
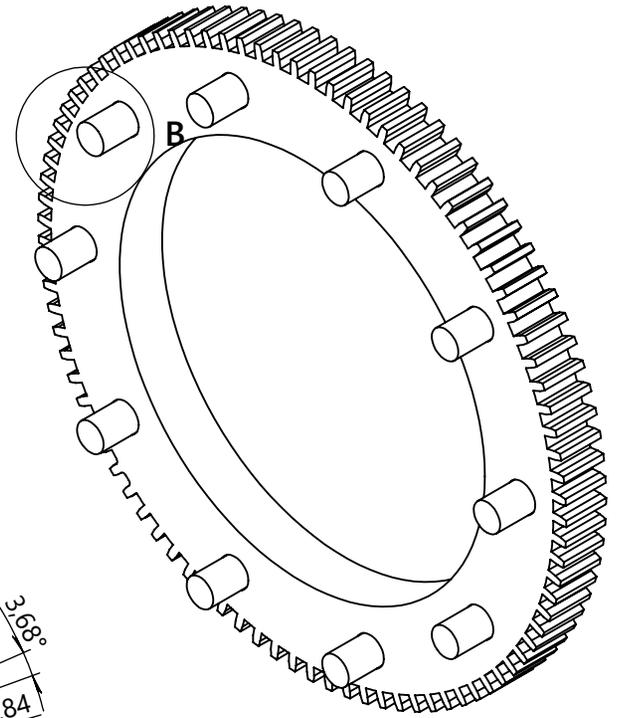
NOMBRE DE PIEZA:
Disco de Ajuste A (05)



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



DETALLE A
ESCALA
2:1



DETALLE B
ESCALA
2:1



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-06

PROYECTO
DE TESIS

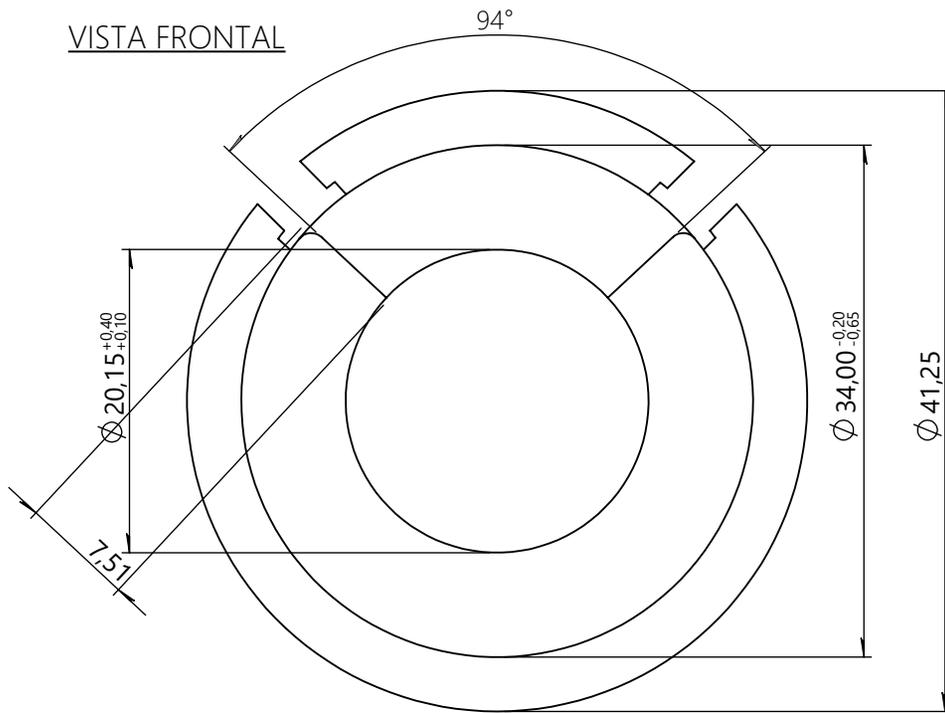
TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 2:1	TOLERANCIA: +0,40 +0,10	HOJA: 06 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------------	-------------------

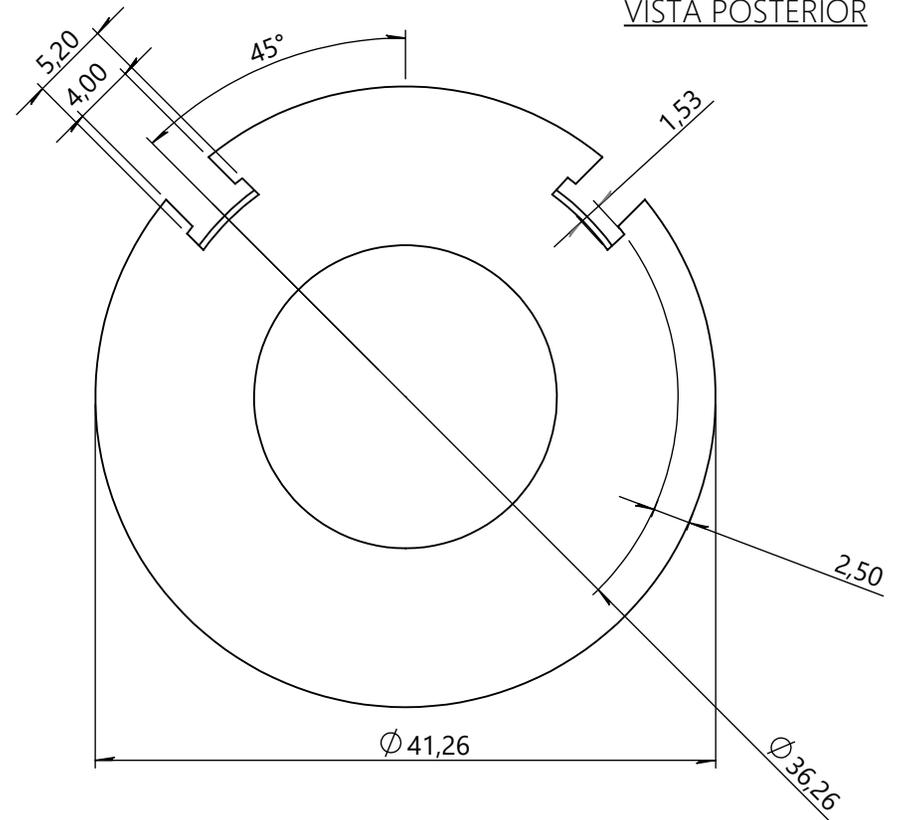
DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

NOMBRE DE PIEZA:
Disco de Ajuste B (06)

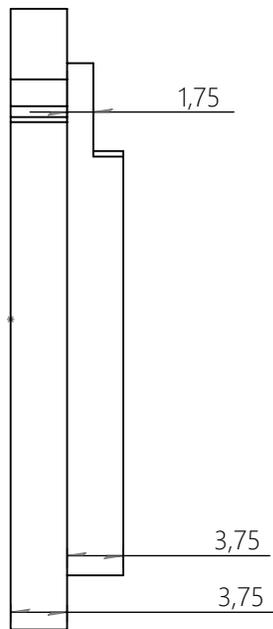
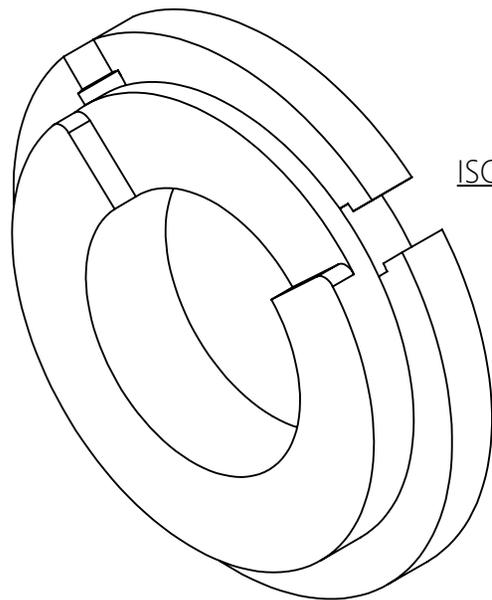
VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR



ISOMÉTRICO



VISTA LATERAL



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-07

PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:

Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

ACOTACIÓN:

mm.

FECHA DE ELABORACIÓN:

05.08.2019

ESCALA:

2:1

TOLERANCIA:

Varias

HOJA:

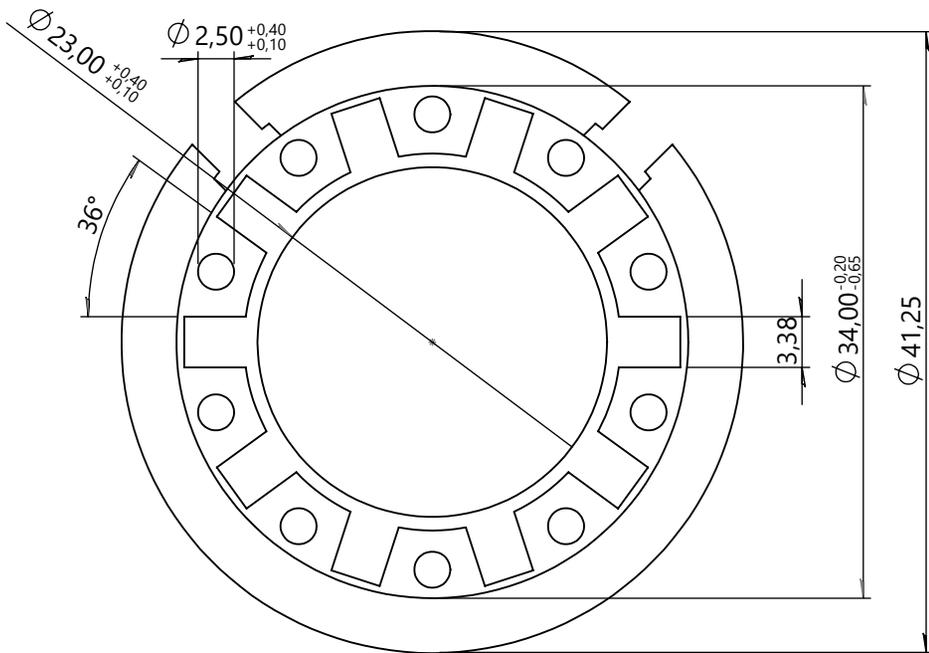
7 DE 14

DIBUJANTE:

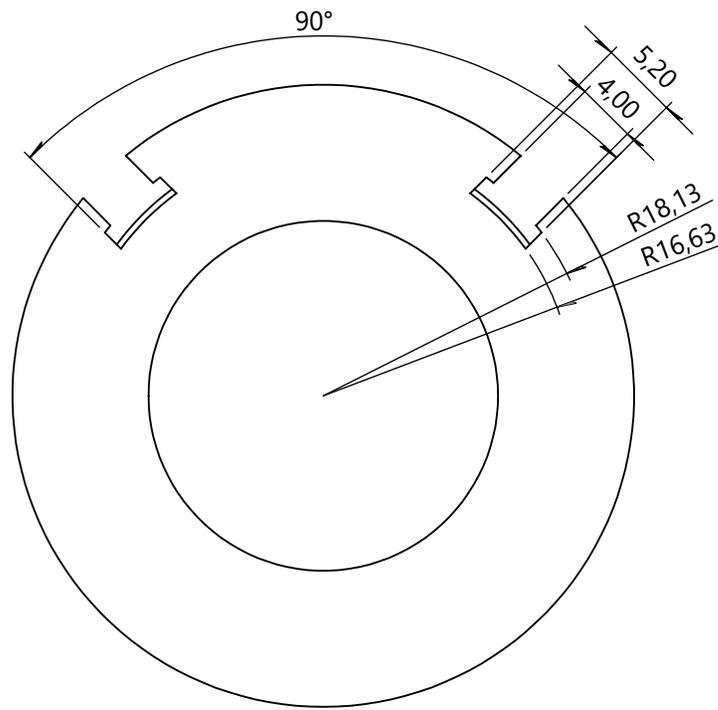
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

NOMBRE DE PIEZA:

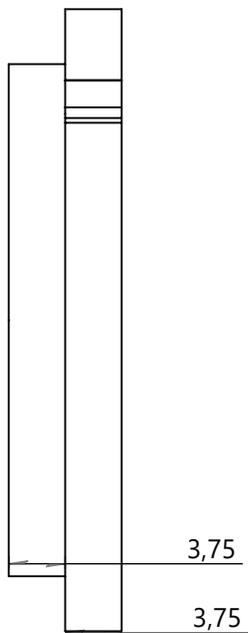
Base A (07)



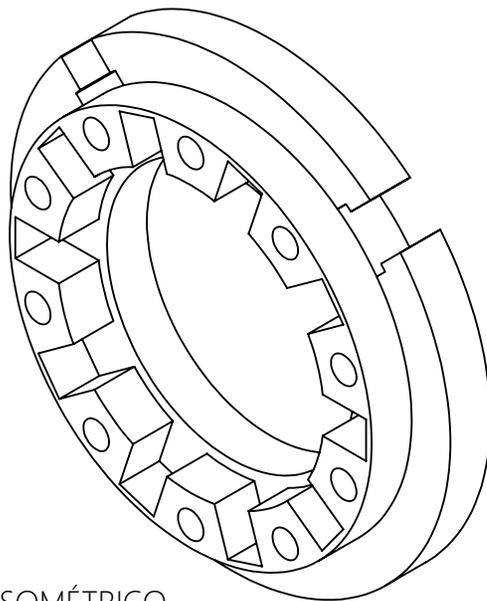
VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-08

PROYECTO
DE TESIS

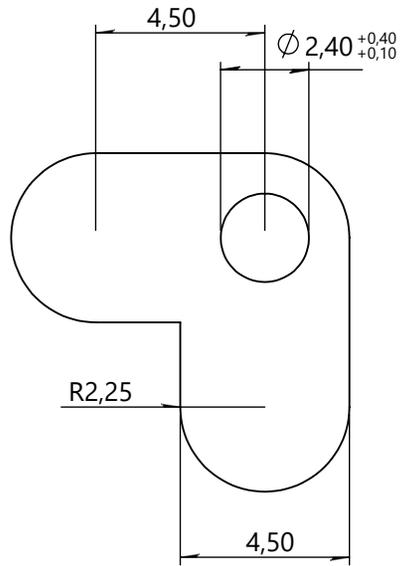
TÍTULO:

Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

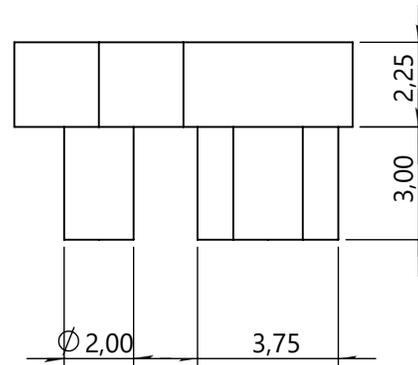
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 2:1	TOLERANCIA: Varias	HOJA: 8 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-----------------------	------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

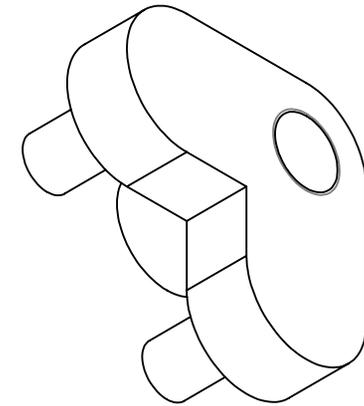
NOMBRE DE PIEZA:
Base B (08)



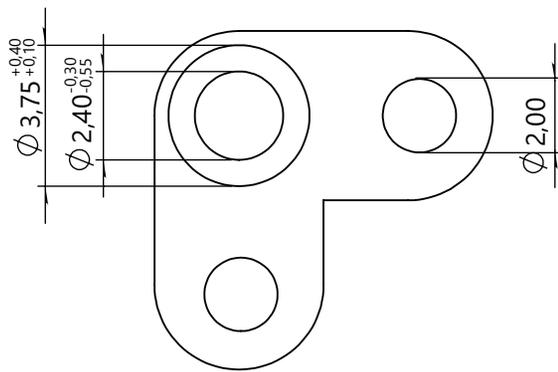
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



VISTA POSTERIOR



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-09

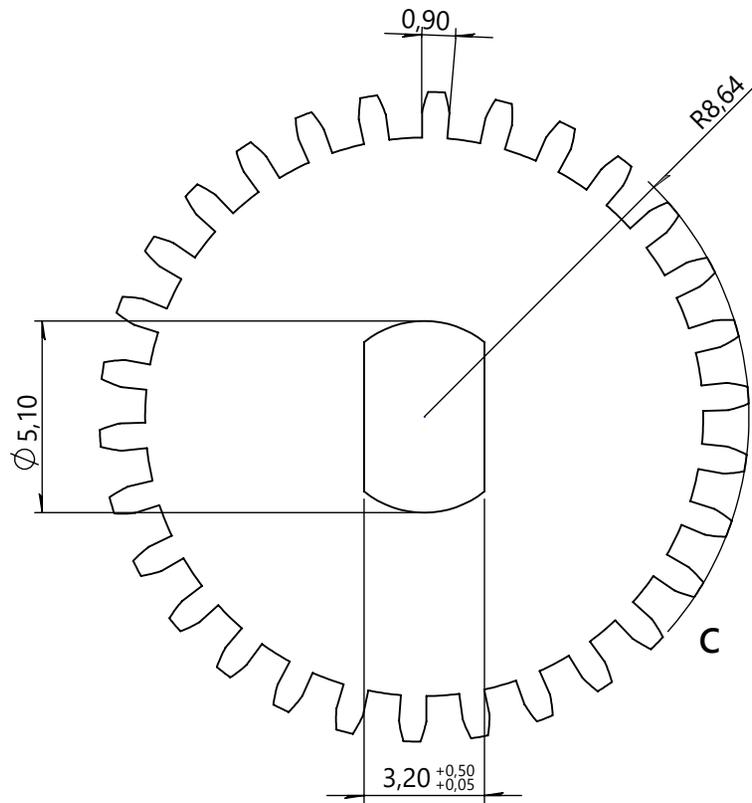
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

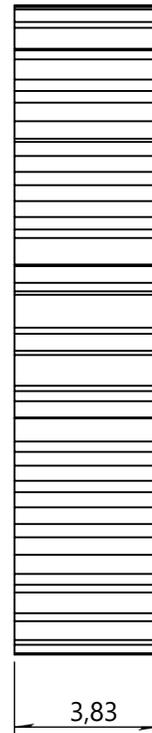
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 5:1	TOLERANCIA: Varias	HOJA: 09 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-----------------------	-------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

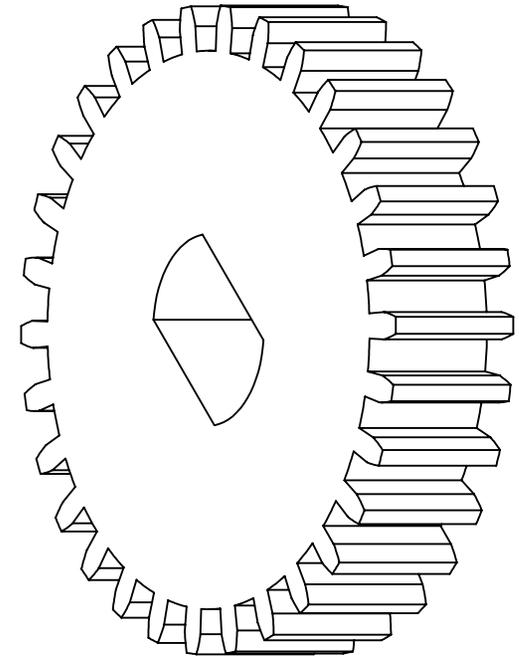
NOMBRE DE PIEZA:
Manivela (09)



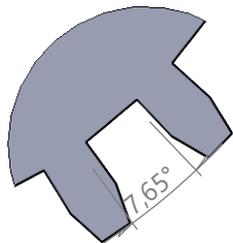
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



DETALLE C
ESCALA 10 : 1



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-10

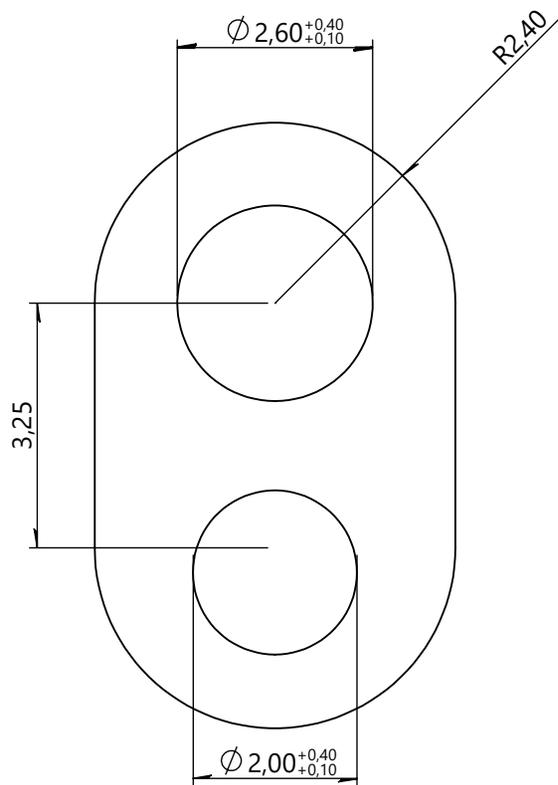
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

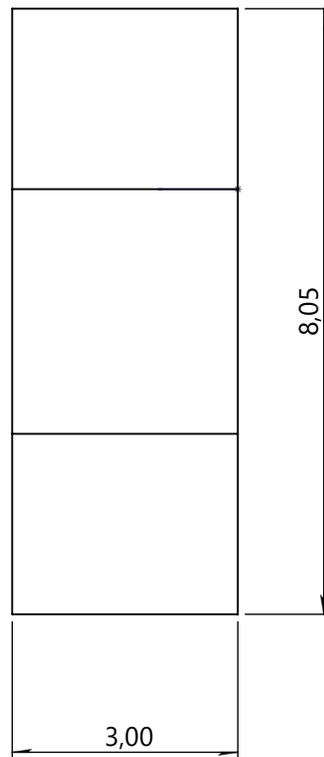
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 5:1	TOLERANCIA: +0,50 +0,05	HOJA: 10 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------------	-------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

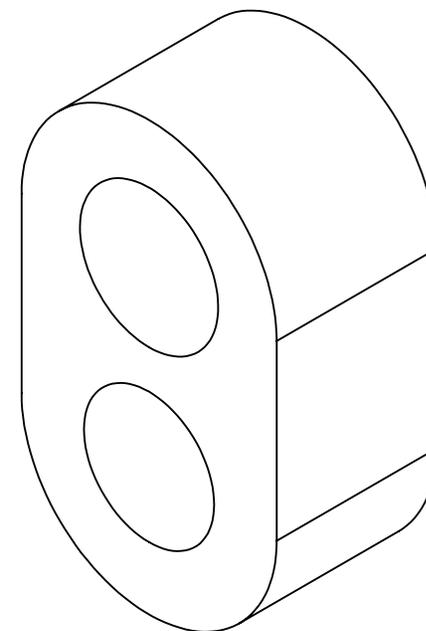
NOMBRE DE PIEZA:
Piñón (10)



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-11

PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

ACOTACIÓN:
mm.

FECHA DE ELABORACIÓN:
05.08.2019

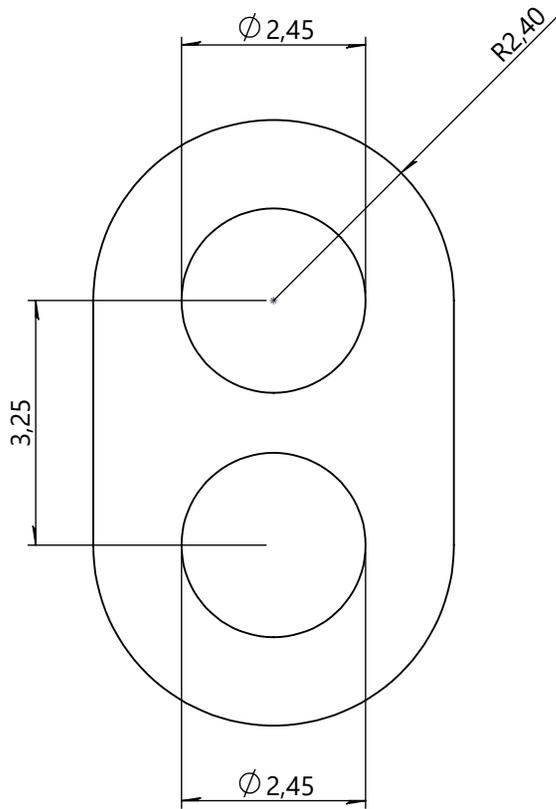
ESCALA:
10:1

TOLERANCIA:
+0,40
+0,10

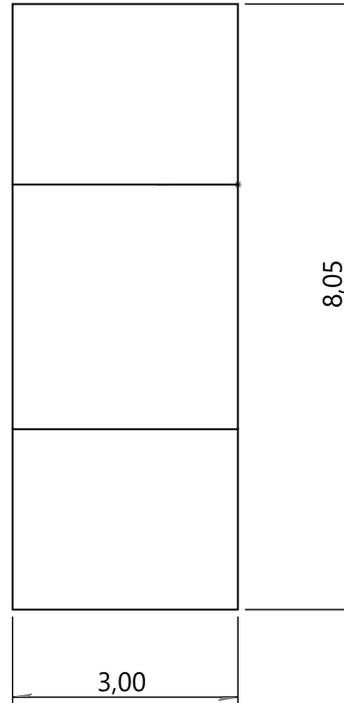
HOJA:
11 DE 14

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

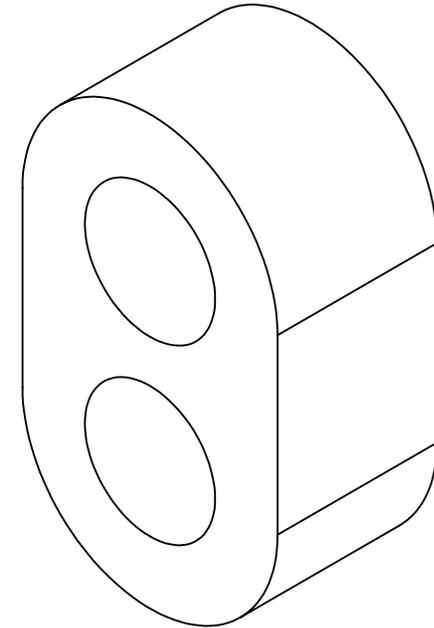
NOMBRE DE PIEZA:
Eslabón A (11)



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-12

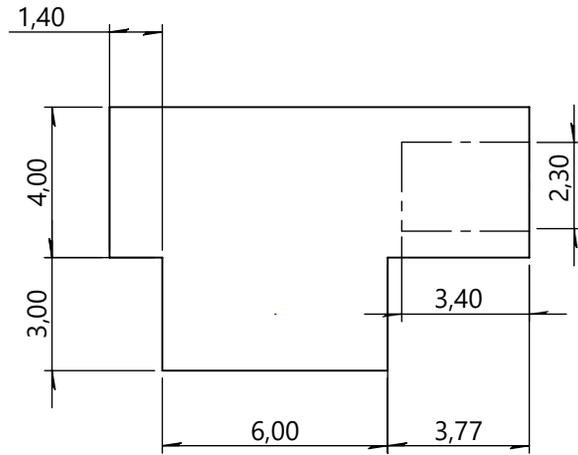
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

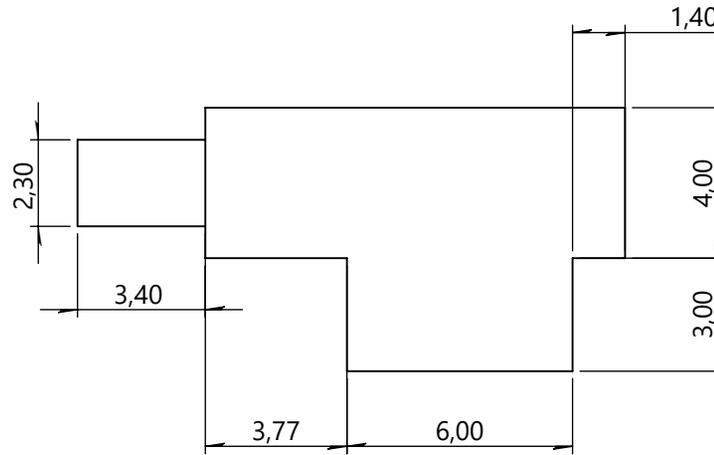
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 10:1	TOLERANCIA: +/-0.2	HOJA: 12 DE 14
-------------------	-------------------------------------	-----------------	-----------------------	-------------------

DIBUJANTE:
MIROSLAVA LEYVA PACHECO

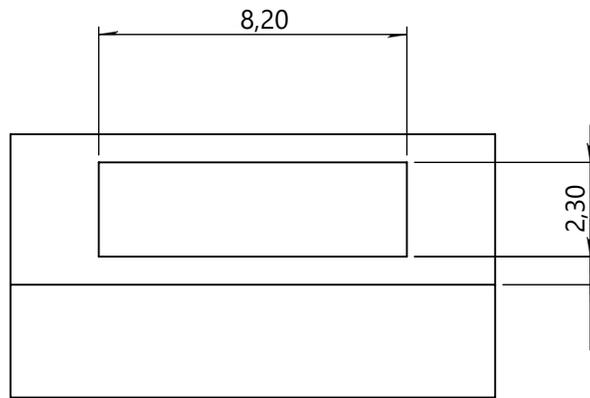
NOMBRE DE PIEZA:
Eslabón B (12)



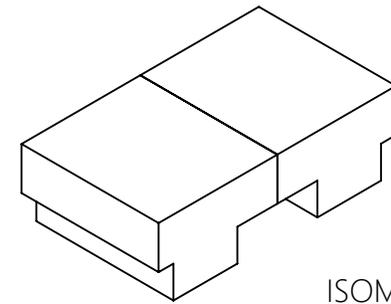
VISTA LATERAL B1



VISTA LATERAL B2



VISTA FRONTAL B1 Y B2



ISOMÉTRICO
ENSAMBLE B1-B2



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PL-13

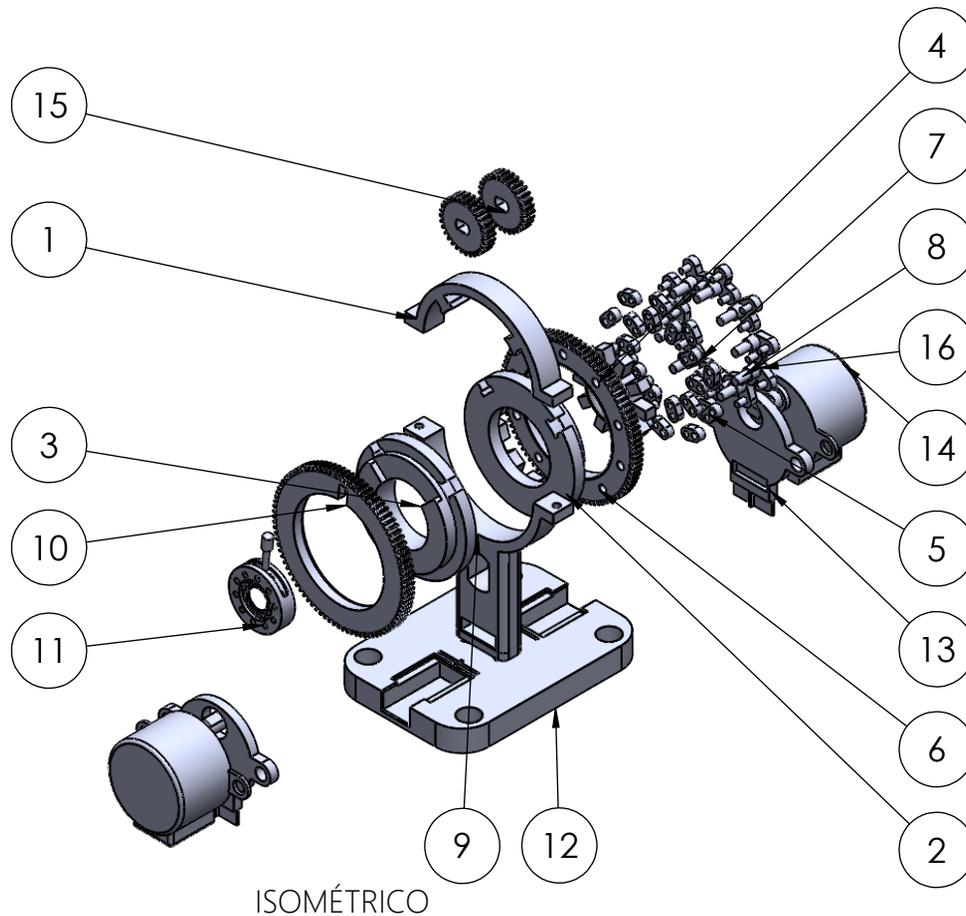
PROYECTO
DE TESIS

TÍTULO:
Rediseño de componentes para aplicación
en ciencias visuales

ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: 5:1	TOLERANCIA: +/-0.1	HOJA: 13 DE 14
-------------------	-------------------------------------	----------------	-----------------------	-------------------

DIBUJANTE: MIROSLAVA LEYVA PACHECO	NOMBRE DE PIEZA: Ensamble Base B1-B2 (13) <i>Accesorio</i>
---------------------------------------	---

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Soporte B	01
2	Base lente	01
3	Base diafragma	01
4	Cristalino2	01
5	Eslabón A	10
6	Disco de ajuste B	01
7	Eslabón B	10
8	Bellcrank	10
9	Soporte A	01
10	Disco de ajuste A	01
11	Diafragma D12S-P5-	01
12	Base	01
13	Soporte motor	02
14	motor pasos	02
15	Piñón	02
16	Tornillos	10



		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PL-14	
PROYECTO DE TESIS		TÍTULO: Rediseño de componentes para aplicación en ciencias visuales			
ACOTACIÓN: mm.	FECHA DE ELABORACIÓN: 05.08.2019	ESCALA: sin escala	TOLERANCIA: +-0.2	HOJA: 14 DE 14	
DIBUJANTE: MIROSLAVA LEYVA PACHECO			NOMBRE DE PIEZA: Plano explosivo (14)		