

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

"Análisis de ingeniería del sistema de sujeción de una lente sólida elástica a una montura mecánica"

TESIS

Para obtener el título de:
Ingeniero en Diseño

Presenta:

Víctor Hugo Castillejos Reyes

Asesores:

MDI. Fernando Iturbide Jiménez
DR. Jorge González García

Huajuapán de León, Oaxaca, Abril del 2012.

Dedicatoria

A mis padres **Adán Castillejos Morgan y Clara Evelia Reyes Toscano**, a los que no me equivoco si digo que son los mejores papás del mundo, gracias por todo su esfuerzo, su apoyo y la confianza que depositaron en mí. Gracias porque siempre, aunque lejos, han estado a mi lado. Los quiero mucho.

A mi gran hermano **Juan Manuel**, que siempre he contado con su apoyo en todo momento y me ha sabido aconsejar. Eres el mejor gran hermano que un hermano puede tener.

Agradecimientos

A mis padres y hermano quienes con su apoyo me han sabido guiar para poder culminar esta etapa tan importante, han sido los cimientos principales en mi vida y han depositado su entera confianza en cada reto presentado, gracias por creer en mí. Han sido ustedes un gran ejemplo a seguir.

A todos mis profesores no solo de la carrera sino de toda la vida, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy. Especialmente a los que se involucran este proyecto: Mis asesores M.D.I. Fernando Iturbide Jiménez y Dr. Jorge González García; mis revisores M.C. Víctor Manuel Cruz Martínez, M.D.I. José Luis Jasso Ríos Montañéz y Dr. Agustín Santiago Alvarado.

A Yuliana García, por todo el apoyo que me has dado para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo y por todo el tiempo que has dedicado para ayudarme a culminar esta etapa de mi vida en la que he aprendido mucho gracias a ti, recuerda que eres muy importante para mí.

A toda mi Familia y todas aquellas personas que me dieron palabras de aliento para salir adelante y que contribuyeron directa e indirectamente para culminar esta etapa en mi vida. A Judith García y familia por haberme tendido la mano y ser cordiales conmigo.

En especial a ti Dios porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodeas y porque me tienes en tus manos. Esta tesis es para ti.

INDICE

INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	X
CAPITULO 1. PRELIMINARES	2
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVOS DE LA TESIS	3
III. ANTECEDENTES.....	4
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
V. JUSTIFICACIÓN.....	8
VI. METODOLOGÍA	10
VII. CONCEPTOS ÓPTICOS	14
CAPÍTULO 2. MODELO OPTO-MECÁNICO DEL OJO HUMANO.....	18
2.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO OPTO-MECÁNICO.....	18
2.1.1. <i>Montura de la SEL</i>	19
2.1.2. <i>Lente sólida elástica SEL</i>	20
2.1.3. <i>Carcasa</i>	22
2.2. MATERIALES	23
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL MODELO OPTO-MECÁNICO EXISTENTE.....	25
3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE FUNCIONAMIENTO DEL MODELO OPTO-MECÁNICO.....	25
3.2. SISTEMA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS PARTES QUE CONFORMAN EL MODELO OPTO-MECÁNICO	28
3.3. ANÁLISIS FUNCIONAL Y ANÁLISIS DE VALOR DE LA MONTURA	32
MECÁNICA-SEL	32
CAPÍTULO 4. PROPUESTAS DE DISEÑO DE LA MONTURA	38
4.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	38
4.2. DISEÑOS PRELIMINARES	39
4.2.1. PROPUESTA 1.....	40
4.2.2. PROPUESTA 2.....	41
4.2.3. PROPUESTA 3.....	42
4.2.4. PROPUESTA 4.....	43
4.3. DIGITALIZACIÓN DE MODELOS.....	44
4.3.1. <i>Modelo 1</i>	44
4.3.2. <i>Modelo 2</i>	46

4.3.3. Modelo 3.....	47
4.3.4. Modelo 4.....	50
4.4. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	52
4.5. DISEÑO FINAL DE LA MONTURA MECÁNICA	56
4.6. PROPUESTA DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DEL ENGRANE	57
4.7. SISTEMA DE FIJACIÓN Y MEDICIÓN EN EL ENGRANE	57
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS.....	62
5.2.1. Definición de la geometría objeto de estudio.....	64
5.2.2. Asignación de las propiedades físicas de los materiales	65
5.2.3. Asignación de las condiciones de contorno	66
5.2.4. Mallado de la geometría	69
5.2.5. Resolución del problema	70
5.2.6. Análisis de la solución	71
5.3. Análisis de Elementos Finitos para las propuestas 3 y 4.	88
CAPITULO 6. PLANIFICACIÓN DE PROCESOS	94
6.1. PIEZA DE TRABAJO	95
6.2. OPERACIONES Y SECUENCIAS.	96
6.3. SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA.	98
6.4. SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS.....	100
6.5. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE MAQUINADO.....	102
<i>Taladro (brocas)</i>	102
<i>Torno (buriles)</i>	102
<i>Fresa (cortadores verticales)</i>	103
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	110
APÉNDICES	113
APÉNDICE A. CÁLCULO DEL COSTO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS DE LA MONTURA.	114
APÉNDICE B. MATERIALES EMPLEADOS EN EL MODELO OPTO-MECÁNICO.	116
PLANOS CONSTRUCTIVOS	118

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LENTE SÓLIDA ELÁSTICA: DESCRIPCIÓN DE PARTES.	7
FIGURA 2. ELONGACIÓN DE LA LENTE SOLIDA ELÁSTICA.....	7
FIGURA 3. DIAGRAMA DE MANCHAS GENERADAS POR LA LENTE ADAPTIVA SEL A MEDIDA QUE AUMENTAN LAS FUERZAS RADIALES APLICADAS.	7
FIGURA 4. VISTA FRONTAL DE LA SEL.....	8
FIGURA 5. ZONA DE ESFUERZOS AL APLICAR FUERZA SOBRE LA SEL.	9
FIGURA 7. PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	10
FIGURA 6. ANÁLISIS DE ESFUERZOS.....	10
FIGURA 8. ACTIVIDADES CONTEMPLADAS EN LA METODOLOGÍA.....	13
FIGURA 9. REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN UTILIZANDO UN RAYO DE LUZ.	16
FIGURA 10. MODELO OPTO-MECÁNICO DEL OJO HUMANO.	18
FIGURA 11. MODELO Y EXPLOSIVO DE LA MONTURA.	19
FIGURA 12. SISTEMA MECÁNICO PARA APLICAR FUERZAS RADIALES A LA SEL.	20
FIGURA 13. FUNCIONAMIENTO DE LA SEL.	20
FIGURA 15. DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA EL VACIADO DEL ELASTÓMERO.....	21
FIGURA 14. VISTA FRONTAL DE LA SEL, CON UN DISCO DENTADO PARA APLICAR FUERZAS RADIALES.	21
FIGURA 16. DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LA CARCASA.	22
FIGURA 17. EXPLOSIVO DEL MODELO OPTO-MECÁNICO.....	26
FIGURA 18. MODELO ORIGINAL DE LA MORDAZA.....	40
FIGURA 19. DISMINUCIÓN DE ESPACIOS ENTRE MORDAZAS.	40
FIGURA 20. AUMENTO EN EL NÚMERO DE MORDAZAS.	40
FIGURA 21. MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA MORDAZA.....	41
FIGURA 22. ENTRELAZADO DE MORDAZAS.	41
FIGURA 23. AMPLIACIÓN DE LA GEOMETRÍA Y AUMENTO DE MORDAZAS.	41
FIGURA 24. ANILLO FIJO A LA LENTE FLEXIBLE.	42
FIGURA 25. ANILLO RETRÁCTIL COLOCADO EN LA PARTE POSTERIOR.	42
FIGURA 26. DISPOSITIVO CONTENER.....	42
FIGURA 27. ELONGACIÓN DE LA LENTE.....	42
FIGURA 28. SOPORTE PARA LOS HILOS DE ACERO SUJETOS A LOS FRAGMENTOS.	43
FIGURA 29. FRAGMENTACIÓN DEL ANILLO.	43
FIGURA 30. SISTEMA COMPLETO DEL MACANISMO.	43
FIGURA 31. FUNCIONAMIENTO DE LA MONTURA.....	43
FIGURA 32. MODELO ORIGINAL DE LA MORDAZA.	44
FIGURA 33. INCREMENTO A 13 MORDAZAS.	44
FIGURA 34. MAYOR ÁREA DE CONTACTO AL INCREMENTAR EL NÚMERO DE MORDAZAS.	45
FIGURA 35. MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA MORDAZA.....	46
FIGURA 36. INCREMENTO A 10 MORDAZAS.	46
FIGURA 37. MORDAZAS INCRUSTADAS EN LA LENTE FLEXIBLE.....	46
FIGURA 38. LENTE FLEXIBLE SUJETA A UN ANILLO.	47
FIGURA 39. ANILLO POSTERIOR.	47
FIGURA 40. LENTE FLEXIBLE ESTIRADA POR LA FUERZA DEL ANILLO POSTERIOR.....	48
FIGURA 41. SISTEMA COMPLETO DE LA PROPUESTA 3.	48

FIGURA 42. CORTE DEL DISPOSITIVO DE LA PROPUESTA 3.....	49
FIGURA 43. ANILLO SECCIONADO EN PARTES IGUALES.....	50
FIGURA 44. LENTE FLEXIBLE TENSIONADO MEDIANTE LOS CABLES DE ACERO.....	50
FIGURA 47. MODELO DEL SISTEMA COMPLETO DE LA MONTURA.....	51
FIGURA 45. CABLES DE ACERO QUE TENSIONAN LA LENTE.....	51
FIGURA 46. ELONGACIÓN DE LA LENTE FLEXIBLE PRODUCIDA POR LOS CABLES DE ACERO.....	51
FIGURA 48. MODELO FINAL DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA LENTE.....	55
FIGURA 49. SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA LENTE, INTEGRADO A LAS DEMÁS PIEZAS DE LA MONTURA.....	56
FIGURA 50. MODELO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DEL ENGRANE.....	57
FIGURA 51. MECANISMO DE FIJACIÓN DEL ENGRANE.....	58
FIGURA 52. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA SEL.....	59
FIGURA 53. INCORPORACIÓN DEL MECANISMO DE MOVIMIENTO DEL ENGRANE Y SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA SEL.....	59
FIGURA 54. MODELO FINAL DE LA MONTURA.....	60
FIGURA 55. SECUENCIA DEL ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.....	62
FIGURA 56. PASOS PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	63
FIGURA 57. PIEZAS QUE SERÁN SOMETIDAS AL ANÁLISIS.....	64
FIGURA 58. PROPIEDADES DEL PDMS SYLGAR 184.....	65
FIGURA 59. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA LENTE ELÁSTICA.....	66
FIGURA 60. CONDICIONES DE CONTORNO ENTRE EL PERNO Y EL SEGURO.....	67
FIGURA 61. CONDICIONES DE CONTORNO PARA EL SEGURO.....	67
FIGURA 62. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LAS MORDAZAS.....	68
FIGURA 63. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PARTE INTERIOR DEL ENGRANE.....	68
FIGURA 64. CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PARTE EXTERIOR DEL ENGRANE.....	69
FIGURA 65. DIFERENTES TIPOS DE MALLAS.....	69
FIGURA 66. MALLADO DE LAS PIEZAS.....	70
FIGURA 67. PIEZAS QUE FUERON SOMETIDAS AL ANÁLISIS.....	71
FIGURA 68. A) TENSIONES EJERCIDAS POR LAS MORDAZAS EN LA LENTE Y B) DESPLAZAMIENTOS GENERADOS POR LA FUERZA EJERCIDA.....	72
FIGURA 69. FACTOR DE SEGURIDAD DE 2.3 GENERADO POR LA LENTE, A) VISTA FRONTAL Y B) CORTE DE LA LENTE.....	72
FIGURA 70. FUERZAS QUE ACTÚAN EN LAS MORDAZAS AL APLICAR FUERZA, A) TENSIONES GENERADAS Y B) DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS.....	73
FIGURA 71. A) FACTOR DE SEGURIDAD TOTAL Y B) VOLUMEN DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	74
FIGURA 72. ANÁLISIS DE LA MORDAZA MOSTRANDO A) TENSIONES PRODUCIDAS, B) DESPLAZAMIENTOS GENERADOS Y C) FDS.....	74
FIGURA 73. A) TENSIONES GENERADAS EN LOS DIENTES DEL ENGRANE Y B) DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR EL CONTACTO DEL SEGURO CON EL ENGRANE.....	75
FIGURA 74. FACTOR DE SEGURIDAD DEL ENGRANE PRODUCIDO POR LA FUERZA DEL SEGURO.....	76
FIGURA 75. A) TENSIONES, B) DESPLAZAMIENTOS Y C) FDS DE LOS PUNTOS DE CONTACTO.....	76
FIGURA 76. RESULTADOS DEL CONTACTO DE LA BASE, PERNO Y SEGURO, A) TENSIONES MÁXIMAS, B) DESPLAZAMIENTOS Y C) FDS.....	77
FIGURA 77. ANÁLISIS DEL SEGURO EN MATERIAL DE ALUMINIO. A) TENSIONES, B) DESPLAZAMIENTOS Y C) FDS.....	78

FIGURA 78. ANÁLISIS DEL SEGURO EN MATERIAL DE ACERO INOXIDABLE. A) TENSIONES, B) DESPLAZAMIENTOS Y C) FDS.	79
FIGURA 79. APLICACIÓN DE LAS FUERZAS PARA EL ANÁLISIS DE CADALENTE. A) SEL PROPUESTA Y B) SEL DISEÑADA ANTERIORMENTE.	80
FIGURA 80. FUERZAS Y RESTRICCIONES APLICADAS EN A)LENTE PROPUESTA EN ESTE PROYECTO Y B)LENTE DISEÑADA ANTERIORMENTE.	81
FIGURA 81. ORIFICIO TOMADO COMO SOPORTE (COLOR VERDE) PARA COMPARATIVA DE RESULTADOS DE LA MISMALENTE.	82
FIGURA 82. SISTEMA DE FUERZAS APLICADAS EN LALENTE, A) DISEÑO PROPUESTO EN ESTE PROYECTO Y B) DISEÑO DEL PROYECTO ANTERIOR.	83
FIGURA 83. CORTE GENERADO EN LALENTE CON 12 MORDAZAS PARA VISUALIZAR: A) TENSIONES Y B) DESPLAZAMIENTOS.	84
FIGURA 84. CORTE REALIZADO A LALENTE CON 8 MORDAZAS EN DONDE SE VISUALIZA: A) TENSIONES GENERADAS Y B) DESPLAZAMIENTOS.	84
FIGURA 85. SEGUNDO CORTE GENERADO EN AMBAS LENTES PARA VISUALIZAR EL ÁREA EN LA QUE NO EXISTE MORDAZA. A)LENTE PROPUESTA Y B)LENTE DISEÑADA ANTERIORMENTE.	86
FIGURA 86. TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS GENERADOS EN DOS DIFERENTES CORTES PARA LALENTE CON 12 MORDAZAS.	86
FIGURA 87. RESULTADOS DE LAS TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS UBICADOS EN DIFERENTES CORTES DE LALENTE CON 8 MORDAZAS.	87
FIGURA 88. DIRECCIÓN DE LA FUERZA APLICADA EN LALENTE.	88
FIGURA 89. MOVIMIENTO DE LA PERILLA PARA GENERAR LA FUERZA SOBRE LALENTE.	88
FIGURA 90. CARGAS Y RESTRICCIONES.	89
FIGURA 91. MALLADO.	89
FIGURA 92. DESPLAZAMIENTO DE LA SEL AL APLICAR FUERZA DE A) 1, B) 2, C) 4, D) 6, E) 8 Y F) 10 N RESPECTIVAMENTE.	90
FIGURA 93. APLICACIÓN DE LA FUERZA MÁXIMA ALLENTE.	90
FIGURA 94. FUERZAS RADIALES EJERCIDAS POR LAS MORDAZAS.	91
FIGURA 95. CARGAS Y RESTRICCIONES DE LA PROPUESTA 4.	91
FIGURA 96. MALLADO DELLENTE EN LA PROPUESTA 4.	91
FIGURA 97. DESPLAZAMIENTO DE LALENTE AL APLICAR FUERZA.	92
FIGURA 98. PIEZA A TRABAJAR EN BARRA DE ALUMINIO DE 4x4x1/2 PLG.	95
FIGURA 99. PIEZA A TRABAJAR EN BARRA DE ALUMINIO DE 4 PLG.	95
FIGURA 100. PIEZAS A TRABAJAR EN BARRA DE ALUMINIO DE 4 3/4 PLG (120 MM).	95
FIGURA 101. PIEZAS DE TRABAJO EN ACRÍLICO DE 3/4 PLG (DIMENSIONES 209x117MM).	96
FIGURA 102. OPERACIONES CON EL TORNO.	97
FIGURA 103. OPERACIONES DE FRESADO.	97
FIGURA 104. OPERACIONES CON EL TALADRO.	97
FIGURA 105. ELASTÓMEROS TERMO-PLÁSTICOS TPE.	117

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DEL ALUMINIO Y EL PDMS SYLGAR 184.	23
TABLA 2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE FUNCIONAMIENTO DEL MODELO OPTO-MECÁNICO. ...	27
TABLA 3. VALORES REPRESENTATIVOS SEGÚN EL NIVEL DE IMPORTANCIA.....	29
TABLA 4. TABLA DE PONDERACIÓN DE CADA PIEZA QUE INTEGRA LALENTE.....	30
TABLA 5. TABLA DE COMPARACIÓN Y ASIGNACIÓN DE PUNTOS.	30
TABLA 6. PIEZA CON MENOR GRADO DE FUNCIÓN EN LA MONTURA.	32
TABLA 7. PIEZAS CON MENOR GRADO DE FUNCIÓN EN LA CARCASA.	32
TABLA 8. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FUNCIONES.....	34
TABLA 9. PONDERACIÓN DE FUNCIONES.....	35
TABLA 10. TABLA DE REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.	38
TABLA 11. PIEZAS A MODIFICAR PARA LA PROPUESTA 1.	45
TABLA 12. PIEZAS A MODIFICAR PARA LA PROPUESTA 2.	47
TABLA 13. PIEZAS A MODIFICAR O ELIMINAR PARA LA PROPUESTA 3.	49
TABLA 14. PIEZAS A MODIFICAR O ELIMINAR PARA LA PROPUESTA 4.	52
TABLA 15. COMPARACIONES APAREADAS PARA LA JERARQUIZACIÓN DE CRITERIOS.	53
TABLA 16. MATRIZ DE VALORACIÓN MEDIANTE VALOR TÉCNICO PONDERADO.	54
TABLA 17. PIEZAS A MODIFICAR PARA LA PROPUESTA SELECCIONADA.	56
TABLA 18. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR LAS LENTES.	85
TABLA 19. PIEZAS A MAQUINAR Y COMPRAR.	94
TABLA 20. OPERACIONES Y SECUENCIAS QUE SEGUIRÁN CADA UNA DE LAS PIEZAS.	98
TABLA 21. MAQUINARIA SELECCIONADA PARA LA MANUFACTURA DE LAS PIEZAS.	99
TABLA 22. HERRAMIENTAS A UTILIZAR PARA LAS OPERACIONES EN CADA PIEZA.....	100
TABLA 23. VELOCIDADES Y AVANCES PARA LAS BROCAS A UTILIZAR.	102
TABLA 24. VELOCIDADES EN EL TORNO PARA LOS DISTINTOS DIÁMETROS DE PIEZAS.	103
TABLA 25. VELOCIDADES Y AVANCES PARA LOS CORTADORES VERTICALES A UTILIZAR.	104
TABLA 26. TABLA DE VELOCIDADES MODIFICADAS Y AJUSTADAS PARA LAS PIEZAS.	105
TABLA 27. COSTO DE MAQUINADO DE LAS PIEZAS DE LA MONTURA MECÁNICA-SEL.	115
TABLA 28. PARÁMETROS DEL MATERIAL SYLGAR 184.	117

CAPITULO 1

Preliminares

CAPITULO 1. Preliminares

I. Introducción

En décadas recientes el uso de Lentes con Longitud Focal Variable (LLFV) se ha incrementado considerablemente. Estas LLFV o lentes adaptivas son de cuatro tipos principalmente: 1) aquellas que están hechas de un medio líquido dieléctrico, en este tipo de lentes siempre existe un mecanismo que permite modificar la forma de la lente, y con ellos sus parámetros ópticos geométricos, tales como sus radios de curvatura, grosor axial y distancia focal mediante la aplicación de un campo eléctrico o voltaje; 2) lentes adaptivas que están formadas por dos membranas elásticas transparentes ensambladas en un compartimiento cilíndrico (llamado montura de la lente), en el cual se introduce un líquido transparente y mediante el cambio de volumen del líquido, en esta montura, son cambiados los parámetros ópticos geométricos de la lente, 3) las lentes sólidas elásticas adaptivas (más recientes) que son elaboradas de un material elástico dentro una montura que permite aplicar fuerzas radiales en su perímetro con lo cual son cambiados los parámetros ópticos de la lente, este tipo de lente es llamada SEL, de sus siglas en inglés (Solid Elastic Lens)¹ y finalmente 4) lentes fototérmicas, hechas de un material foto térmico, que al recibir radiación UV se deforma ocasionando con ello que la lente cambie sus parámetros geométricos².

¹ Santiago, A., Vázquez, S., Iturbide, F., Arriaga, R. y González, J. (2010). *Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer*.

Santiago, A., Vázquez, S., Granados, F.S., González, J., Rueda, E. y Campos, M. *Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer*.

² Su Xu, Hongwen Ren, Yeong-Jyh Lin, M. G. Jim Moharam, Shin-Tson Wu, and Nelson Tabiryan. (2009). *Adaptive liquid lens actuated by photo-polyme*. Opt. Express 17, 17590-17595.

Por lo tanto, el tema de tesis planteado consiste en analizar y rediseñar la montura de la lente sólida elástica SEL utilizando Análisis de Elementos Finitos (FEA), considerando el uso de diferentes materiales para un mejor desempeño y sin necesidad de mantenimiento que provoque un mayor costo.

II. Objetivos de la tesis

Objetivo General

Analizar el sistema mecánico de sujeción de la SEL (montura mecánica-lente adaptiva refractiva tipo sólida) diseñada en un trabajo previo³, mediante el Método del Elemento Finito (MEF) y generar alternativas que ayuden a reducir las aberraciones producidas.

Objetivos Específicos

- Modificar el sistema mecánico de sujeción de la SEL a la montura mecánica desarrollada por Arriaga (2008), para disminuir deformaciones que generan aberraciones en la imagen.
- Profundizar en el estudio del funcionamiento mecánico del dispositivo total (lente - montura), para analizar los diferentes factores que intervienen en la generación de los problemas detectados y de esta manera dar solución para un funcionamiento óptico eficiente de la SEL.
- Realizar un modelo tridimensional del dispositivo total, lente-montura mecánica.

³Arriaga M.(2008) Diseño y construcción de un modelo opto-mecánico del ojo humano utilizando una lente adaptiva
Santiago A., Vázquez S., Iturbide F., Arriaga R. y González J. (2010). Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer

- Obtener los resultados precisos del análisis (tensiones máximas, desplazamientos, factor de seguridad) para realizar una planificación de procesos que ayuden a la construcción de dicho sistema en un futuro próximo.

III. Antecedentes

El proyecto “Óptica Adaptiva de sistemas refractores” (sep-2004-c01-46080/A1) aprobado por CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), proyecto perteneciente a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, tiene como objetivo diseñar, construir y caracterizar diferentes tipos de lentes adaptivas refractivas, las cuales pueden cambiar sus parámetros ópticos geométricos, ya sea por medio del incremento de líquido introducido en la montura (lente líquida elástica)⁴ o mediante la aplicación de fuerzas a una lente sólida elástica (llamada SEL) mediante una montura⁵. Con respecto a éste último tipo de lente y para cumplir con el objetivo del proyecto, se plantea hacer nuevos modelos virtuales, mecánicos y físicos, a través de la Ingeniería Asistida por Computadora, CAE (Computer Aided Engineering).

CAE es un software de aplicación basado en la solución de problemas de esfuerzos, tales como estrés y rigidez, convirtiéndose en una herramienta útil en la simulación de esfuerzos físicos, aplicada tanto en el sector industrial como educativo, esencialmente en el área de ingenierías, cuyos objetivos principales son: reducir el número de prototipos y ensayos a realizar para

⁴ Moreno, A.L. (2008). *Obtención de mapas de esfuerzos de membranas elásticas mediante ingeniería asistida por computadora (CAE)*.

⁵ Santiago, A., Vázquez, S., Iturbide, F., Arriaga, R. y González, J. (2008). *The Design, Construction and Characterization of a Solid Elastic Lens*.

Santiago, A., Vázquez, S., Granados, F.S., González, J., Rueda, E. y Campos, M. (2010). *Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer*.

reducir el tiempo de desarrollo del producto⁶. Esta aplicación emplea Análisis de Elemento Finito (FEA), que es una de las herramientas utilizadas en aplicaciones industriales y en multitud de problemas en física.

Dentro del proyecto de investigación que se ha desarrollado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, se han concluido cuatro tesis de licenciatura, dos están enfocadas en el área de Ingeniería en Diseño, para el diseño y fabricación de las monturas de las lentes, desarrolladas por García (2006) y Arriaga (2008); otra en el área de Ingeniería en Computación, donde se realizó un software para el cálculo de las aberraciones de la lente adaptiva líquida elástica mediante polinomios de Zernike, desarrollada por Jarquín (2007), la última tesis desarrollada por Moreno (2008) en el área de Ingeniería Industrial para conocer los mapas de esfuerzos de las membranas elásticas que forman a la lente líquida, mediante la aplicación de la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE).

IV. Planteamiento del Problema

El desarrollo de monturas para lentes adaptivas sólidas elásticas es totalmente nuevo, tal es así que lo único desarrollado sobre este tema lo han realizado investigadores del Instituto de Física y Matemáticas de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, del cual se realizó un artículo de investigación⁷. El trabajo desarrollado sobre la SEL hasta este momento, consistió en investigar si podría ser utilizada como lente adaptiva, para esto se diseñó y construyó un prototipo de la montura y la lente para ser aplicados como modelo del ojo humano (Moreno, 2008).

⁶Escuer J. M. (2003) *Posgrado en Ingeniería Asistida por Ordenador: CAE*

⁷Santiago A., Vázquez S., Iturbide F., Arriaga R. y González J. (2010). *Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer.*

Las pruebas ópticas realizadas a la lente con la montura mostraron que efectivamente este tipo de lente presentaba un comportamiento adaptivo, pero también presentaba una serie de problemas que generaban aberraciones adicionales a las formadas por la propia lente como sistema óptico. Por lo que en el presente trabajo de tesis se plantea analizar este diseño y rediseñar tanto la montura como la parte de la lente que se sujeta a la misma para minimizar las aberraciones generadas.

Los problemas presentados en el sistema completo (SEL-montura mecánica) construido por Arriaga (2008) son los siguientes:

1. La forma que tiene la periferia de la lente, mostrada en la figura 1, en la cual se incrustan las mordazas, no se optimiza en su borde para reducir la cantidad de material de la lente que se sujeta a la montura.
2. La geometría de las mordazas, mostradas en la figura 2, provoca que el desplazamiento radial de la lente no se transmita a toda la periferia de la lente de forma uniforme.
3. La cantidad de puntos sobre los cuales se le aplicó las fuerzas radiales a la SEL no son suficientes, ya que la lente al ser estirada por medio de la montura, no se extiende en forma homogénea sobre toda su periferia, lo que provoca a su vez que la imagen generada por la lente de una fuente colocada al infinito (llamada diagrama de mancha), esté deformada, tal y como se muestra en la figura 3.
4. El mecanismo del engrane de la montura mostrada en la figura 4, al momento de girarlo de forma manual (aplicación de las fuerzas radiales y por consecuencia desplazamiento radial de la SEL), no cuenta con un seguro que le permita al engrane quedarse estático, para que la lente permanezca fija en esa deformación o estiramiento radial.

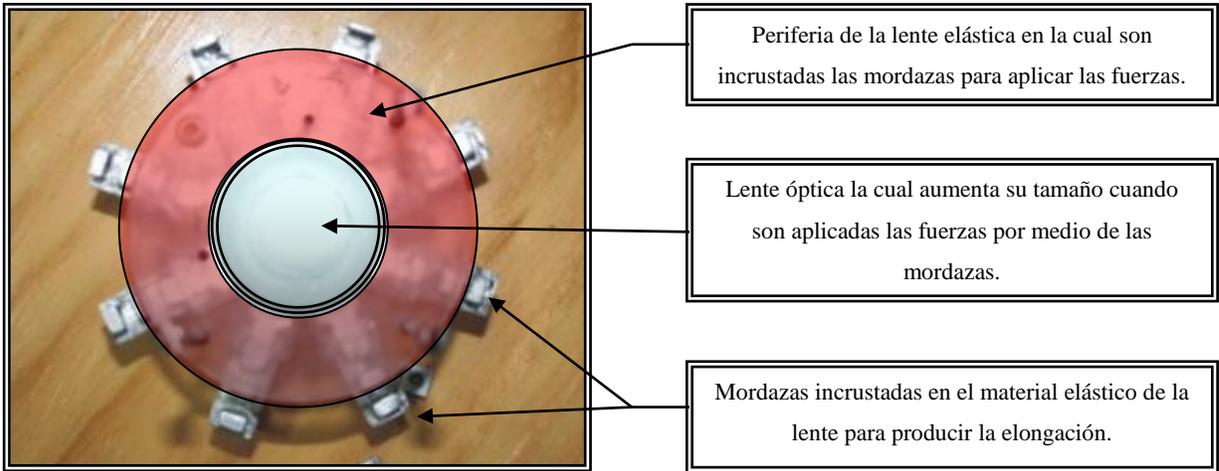


Figura 1. Lente Sólida Elástica: Descripción de partes.

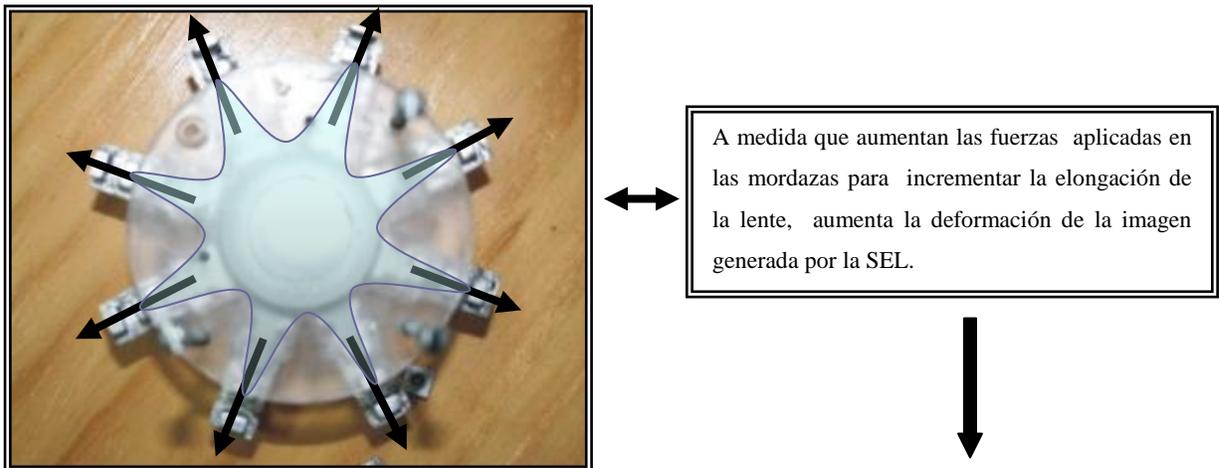


Figura 2. Elongación de la Lente Solida Elástica al aplicar las fuerzas en las mordazas.

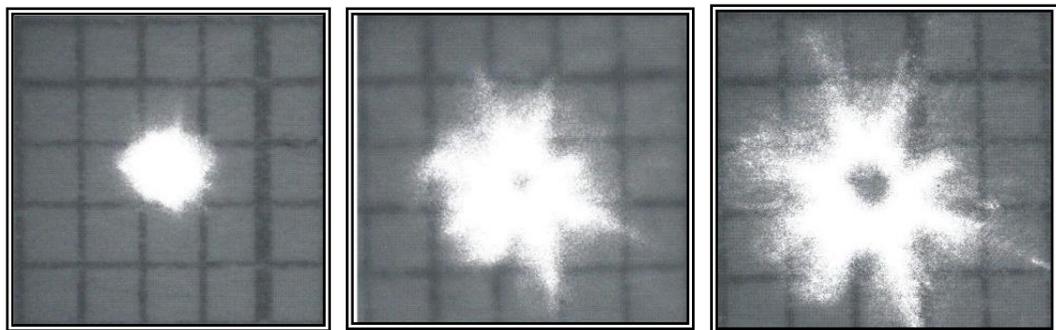


Figura 3. Diagrama de manchas generadas por la lente adaptiva SEL a medida que aumentan las fuerzas radiales aplicadas.

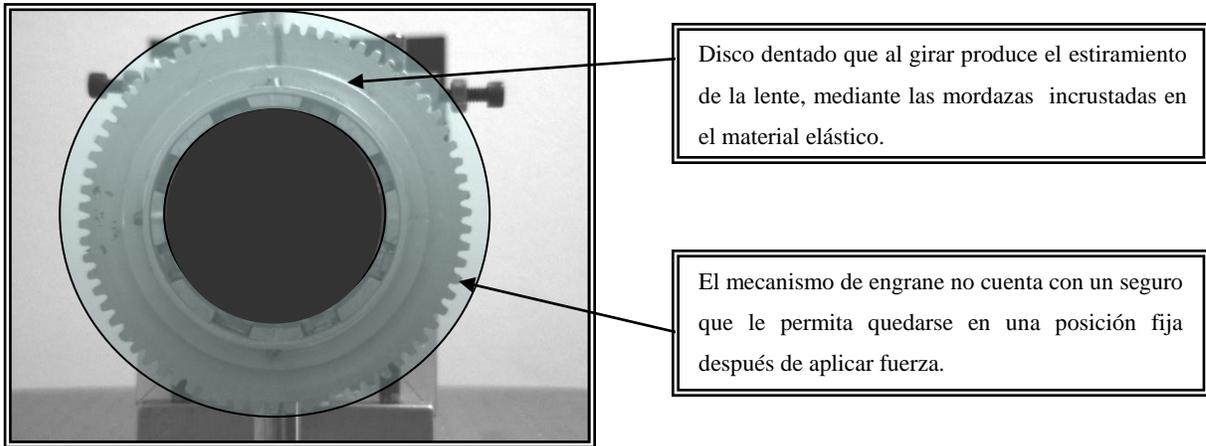


Figura 4. Vista frontal de la SEL.

V. Justificación

De acuerdo a la problemática antes mencionada, el tema de tesis consiste en hacer la propuesta de una lente que corrija los errores de la montura y lente (sistema completo) mediante el análisis y rediseño, para generar un funcionamiento como un sistema adaptivo generador de imágenes. Esto será mediante la realización de un modelo en 3D, el cual va a ser sometido a diferentes condiciones, tales como el tipo de sujeción y la aplicación de fuerzas que permitirán analizar el sistema para obtener los resultados requeridos. El diseño propuesto se validará utilizando el Análisis de Elemento Finito (FEA), ésta aplicación permitirá mejorar el desempeño y funcionamiento de la lente.

El realizar un modelo en 3D y analizarlo mediante un software, tiene como ventaja principal el ahorro considerable de tiempo y costos, ya que dicho sistema se aproxima a las condiciones reales del objeto, dando como resultado un mejor análisis de la pieza, para corregir oportunamente errores que podrían ser de gran importancia, ayudando así, y de manera significativa a evaluar sistemas sin la necesidad de construir prototipos, evitando generar gastos innecesarios.

Otra ventaja de desarrollar modelos y evaluarlos con FEA es su facilidad de implementación en un programa computacional, que a su vez es una condición básica para su utilización, ya que para el tratamiento de un problema en particular deben analizarse las condiciones a la frontera, lo que se traduce en un sistema complejo realizando un número muy elevado de operaciones para resolver sistemas algebraicos del orden de cientos o miles de ecuaciones.

El resultado esperado es la disminución de las aberraciones causadas por el estiramiento no uniforme de la lente SEL cuando se le aplican las fuerzas radiales. Cabe destacar que el aprovechamiento del material es de vital importancia, por lo que al mejorar la geometría de las mordazas se utilizará sólo el material elástico necesario.

En las figura 5 y 6 se muestra las zonas en las que la montura presenta mayores esfuerzos debido a la aplicación de fuerzas en las mordazas.

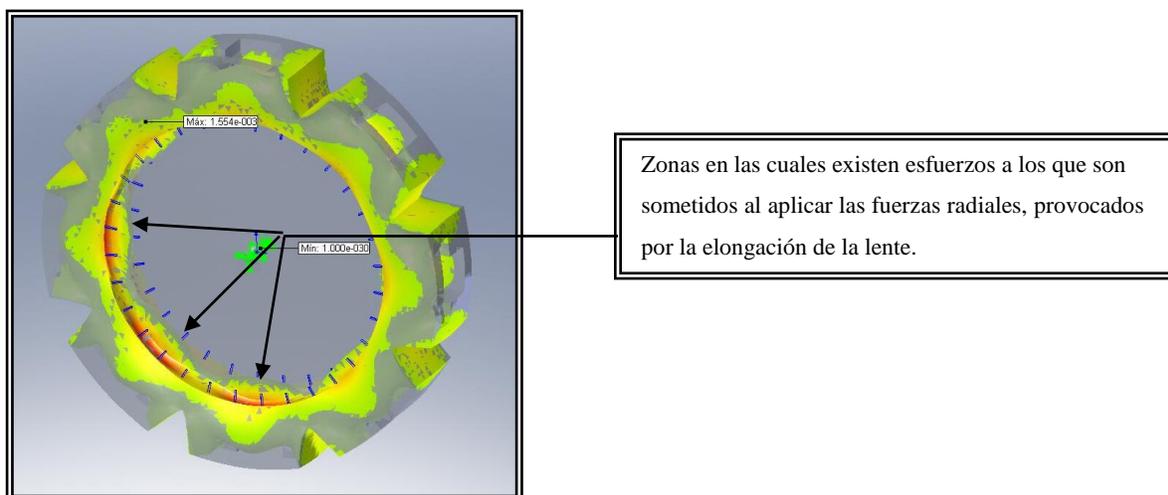


Figura 5. Zona de esfuerzos al aplicar fuerza sobre la SEL.

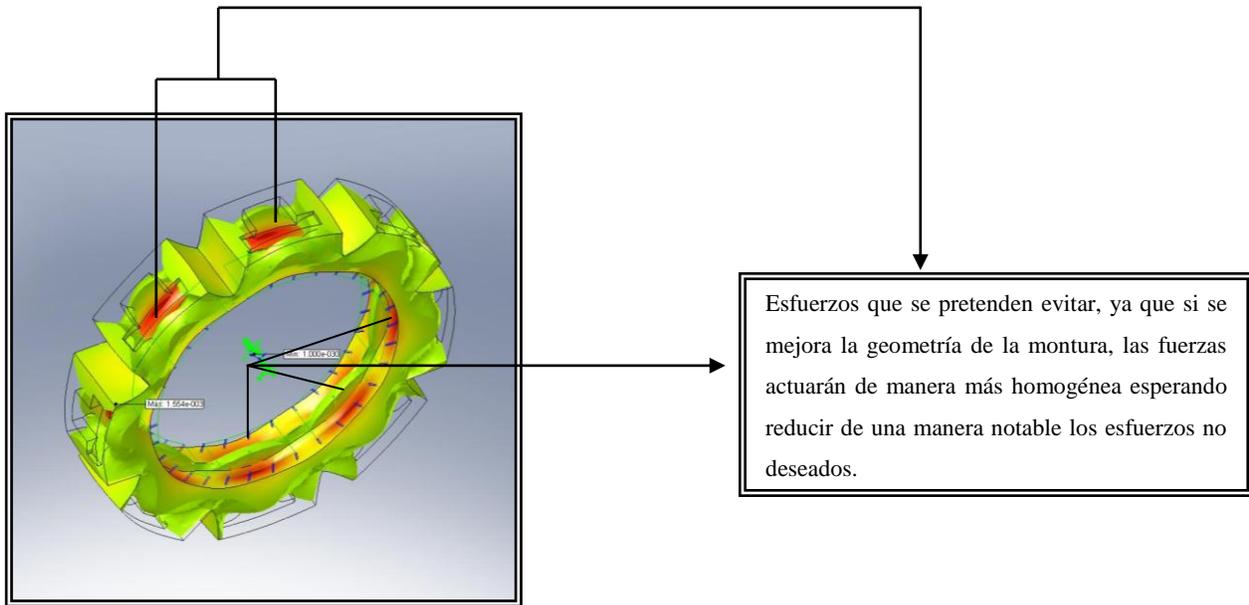


Figura 6. Análisis de esfuerzos.

VI. Metodología

La metodología utilizada en este proyecto de tesis, es la correspondiente al proceso genérico de desarrollo del producto⁸, la cual consta de seis fases, de las cuales solo se han tomado cinco (figura 7), que son las que mejor se adecuan al tema en cuestión.

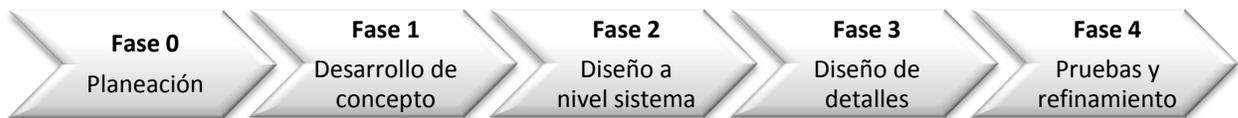


Figura 7. Proceso genérico de desarrollo del producto.

⁸ Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2007). *Diseño y desarrollo de productos: Enfoque multidisciplinario*. México : McGraw Hill.

A continuación se describen cada una de las fases que integran la metodología:

Fase 0. Planeación

A partir de los problemas presentados en el sistema completo (SEL-montura mecánica) surge la necesidad de analizar y rediseñar la montura mecánica en conjunto con una lente adaptiva refractiva tipo SEL. Una de las actividades de esta fase es la comprensión de dicha necesidad y la generación de las especificaciones objetivo.

Fase 1. Desarrollo del concepto

Esta fase inicia con una recopilación de información referente a lo que se pretende hacer, la identificación de trabajos existentes o similares a éste, etc. Comprende también la generación del concepto, es decir, encontrar soluciones al problema planteado. Utilizando diferentes herramientas creativas se generarán ideas representadas a través de bocetos. Ésta etapa finaliza con una revisión y selección de las ideas; optando por el concepto más óptimo.

Fase 2. Diseño a nivel sistema.

Incluye la definición de la arquitectura del concepto elegido en la etapa anterior y su desglose en subsistemas y componentes. Consistirá en una distribución geométrica, una especificación funcional de cada subsistema y un diagrama de proceso preliminar para la secuencia de ensamble final.

Fase 3. Diseño de detalles

Esta fase incluye la especificación completa de la geometría, la elección de los materiales a utilizar, las formas definitivas, tamaños, mecanismos, etc.

Comprende la realización de planos y un modelo virtual de la montura mecánica a través de un software 3D, que tiene como ventaja realizar simulaciones de funcionamiento mecánico, además de un costo reducido frente a la ejecución de prototipos o pruebas de comprobación reales.

Fase 4. Prueba y refinamiento

Esta etapa involucra realizar simulaciones que evalúen el comportamiento del modelo propuesto. A través de herramientas CAE se podrá comprobar los factores funcionales de la montura mecánica, por medio de una simulación virtual de funcionamiento de estructuras o resistencia de material; así mismo se realizará el proceso de confirmación de datos mediante el Análisis de Elemento Finito.

En la figura 8 se muestra un esquema de la metodología del proceso genérico de desarrollo del producto enfocado al proyecto de tesis.



Figura 8. Actividades contempladas en la metodología.

VII. Conceptos ópticos

Para poder entender el funcionamiento óptico de la SEL, a continuación se definen algunos conceptos básicos de óptica⁹:

Sistema Óptico: Un sistema óptico es el arreglo de superficies reflectoras y/o refractoras que tiene como función colectar y cambiar la forma de una porción del frente de onda incidente.

Lente: Una lente es un dispositivo refractor que reconfigura la distribución de la energía que pasa a través de ella, existen distintos criterios sobre la clasificación de las lentes; uno de ellos es por la cantidad de componentes y se dividen en: 1) lente simple formada por un elemento (es decir, cuando tiene sólo dos superficies refractoras cónicas o esféricas) y 2) lente compuesta conformada de más de un elemento (es decir tres o más superficies refractoras).

Lentes simples: Es la más utilizada como sistema óptico porque las superficies son rotacionalmente simétricas alrededor de un eje común y porque pueden adquirir formas esféricas convexas (para las cuales las lentes son llamadas convergentes o positivas) y cóncavas (llamadas divergentes o negativas).

Óptica Geométrica: La óptica geométrica estudia el comportamiento de la luz al reflejarse o refractarse en objetos de un tamaño mucho mayor que la longitud de onda de la luz. La óptica geométrica está gobernada por dos leyes generales muy simples: la Ley de Reflexión de la Luz y la Ley de Refracción de la Luz, aplicadas al diseño de lentes e instrumentos ópticos.

⁹ Hecht E. (2000) *Óptica*. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana, 3era. Edición

Para ello se emplea el concepto de rayo de luz, que indica la dirección de propagación de la luz.

Rayo de luz: Un rayo es una trayectoria rectilínea imaginaria trazada por el espacio que describe de manera conveniente el movimiento de un tren de ondas, mas no constituye una entidad física.

Ley de la reflexión: Si un rayo de luz se propaga a través de un medio homogéneo e incide sobre la superficie de un segundo medio homogéneo, parte de la luz es reflejada. El plano de incidencia se define como el plano formado por el rayo incidente y la normal (es decir, la línea perpendicular a la superficie del medio) en el punto de incidencia. El ángulo de incidencia es el ángulo entre el rayo incidente y la normal a la superficie.

Por lo tanto, La ley de la reflexión indica que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, donde el rayo incidente, la perpendicular a la superficie y el rayo reflejado se encuentran todos en un mismo plano denominado plano de incidencia, ver figura 9.

Ley de refracción: Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, éste sufre una desviación que está descrita por la ley de la refracción, la cual dice que el seno del ángulo de incidencia multiplicado por el índice de refracción del medio es igual al seno del ángulo transmitido por el índice de refracción del segundo medio.

Por otra parte, el rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie que separa los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano (figura 9).

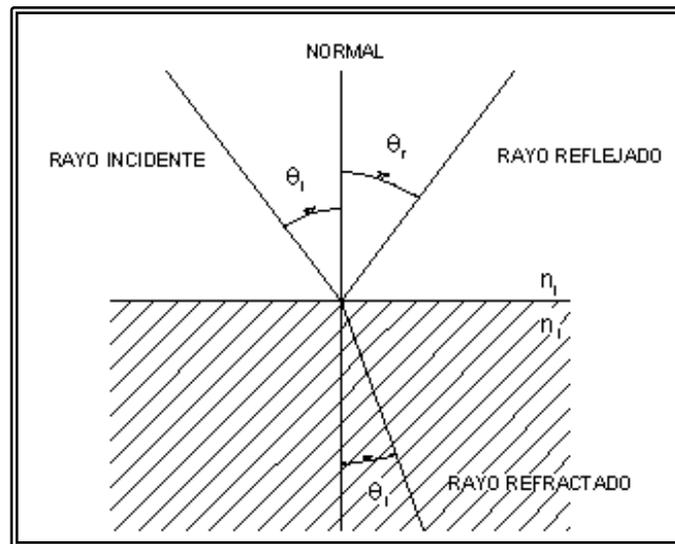


Figura 9. Refracción y reflexión utilizando un rayo de luz.

CAPITULO 2

Modelo opto-mecánico del ojo humano

CAPÍTULO 2. Modelo Opto-mecánico del ojo humano

2.1. Descripción del modelo opto-mecánico

El modelo opto-mecánico (figura 10) diseñado y construido por Arriaga (2008) permite comprender y simular el funcionamiento del ojo humano utilizando elementos ópticos adaptativos. Consta de cinco elementos principales que son: la montura de la SEL, la lente flexible (Lente Sólida Elástica), la lente de vidrio, la cámara CCD y la carcasa; este último integra todos los elementos (excepto la CCD), incluyendo piezas compradas, distribuidos de tal manera que simulan el funcionamiento del ojo humano.



Figura 10. Modelo opto-mecánico del ojo humano.

2.1.1. Montura de la SEL

La montura de la SEL es la que se encarga de posicionar y fijar la lente con exactitud y rigidez y enfocar en el plano imagen para poder obtener las imágenes de una forma definida. Consta de 15 piezas de las cuales 11 fueron maquinadas y 4 compradas (tornillos y tuercas), los materiales son aluminio y acero respectivamente (figura 11).

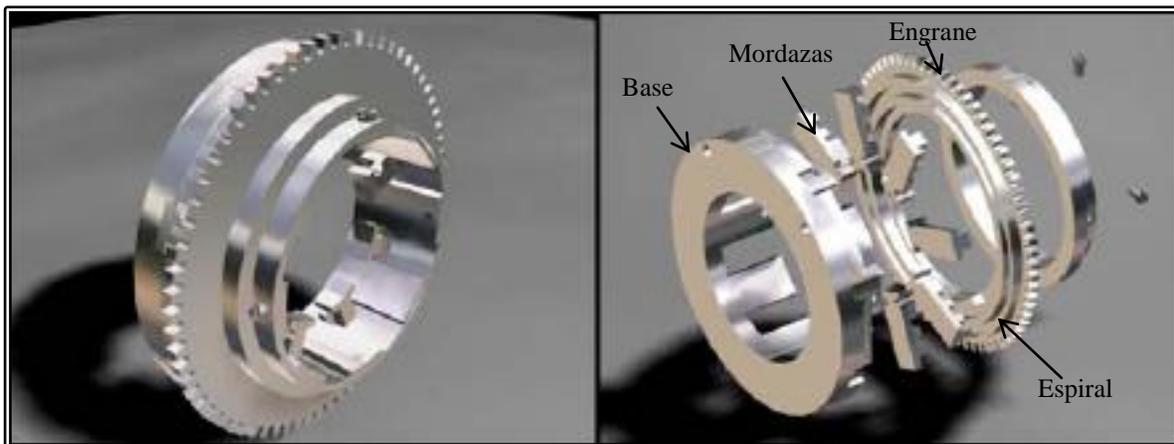


Figura 11. Modelo y explosivo de la montura.

El sistema que conforma la montura trata de una espiral y una base que contiene 8 mordazas ranuradas, ambas giran sobre el mismo eje utilizando un engrane tipo sinfín, que mediante un gusano mueve la espiral con cierta precisión. Las mordazas sujetan el cuerpo de la lente adaptiva a través de un gancho, que permite que el material no se separe de la mordaza por la aplicación de las fuerzas radiales.

2.1.2. Lente sólida elástica SEL

Se han realizado diferentes trabajos para diseñar y construir lentes que cambian su longitud focal, imitando así el comportamiento del cristalino del ojo humano, entre éstos se encuentra el "Diseño, construcción y caracterización de un sistema opto-mecánico adaptativo y su aplicación en el diseño de un instrumento óptico" realizado por García (2006), otro trabajo es el "Diseño y construcción de un modelo opto-mecánico del ojo humano utilizando una lente adaptativa" realizado por Arriaga (2008). Una de estas lentes desarrolladas es la Lente Sólida Elástica (SEL).

La SEL es un sistema simple compuesto por una montura mecánica que permite la aplicación de fuerzas radiales por medio de un sistema de mordazas incrustadas dentro del material elástico transparente que forma el cuerpo de la lente, (figura 12). Las fuerzas radiales son aplicadas en los bordes de la SEL para deformarla, (figura 13). El material elástico permite la deformación y recuperación de la forma original de la lente cuando las fuerzas radiales son suprimidas.

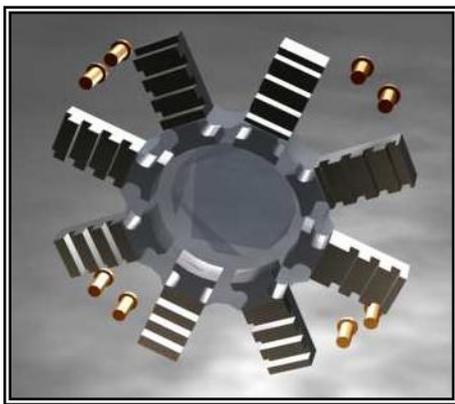


Figura 12. Sistema mecánico para aplicar fuerzas radiales a la SEL.

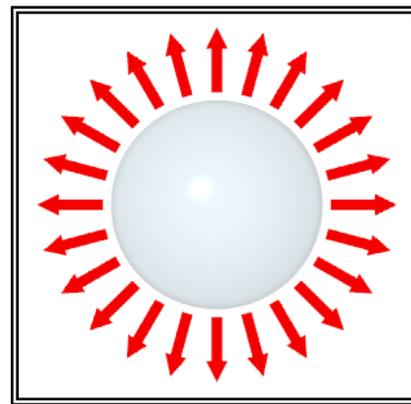


Figura 13. Funcionamiento de la SEL.

En la figura 14 se muestra la imagen de la SEL colocada en el sistema mecánico. El trabajo preliminar, de este tipo de lente ha sido planteado por Arriaga (2008) en un artículo presentado y publicado en un Congreso Internacional¹⁰.

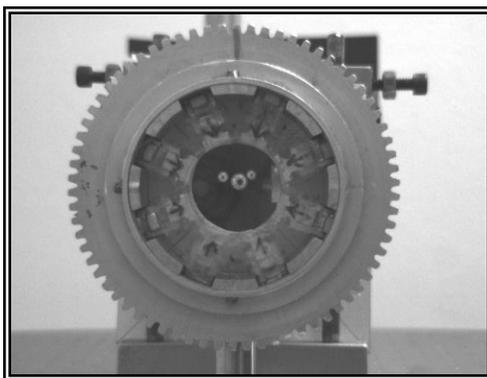


Figura 14. Vista frontal de la SEL, con un disco dentado para aplicar fuerzas radiales.

Para la fabricación de la lente se realizaron moldes de acrílico de inyección por reacción. La disposición de los elementos que conforman el molde se encuentra en la figura 15, donde se aprecia que las mordazas se encuentran dentro del molde, distribuidas a través de unas ranuras hechas en una de sus caras. Se utilizó silicón para asegurar las lentes del acabado superficial y tornillos para prensar las caras del molde y evitar filtraciones.

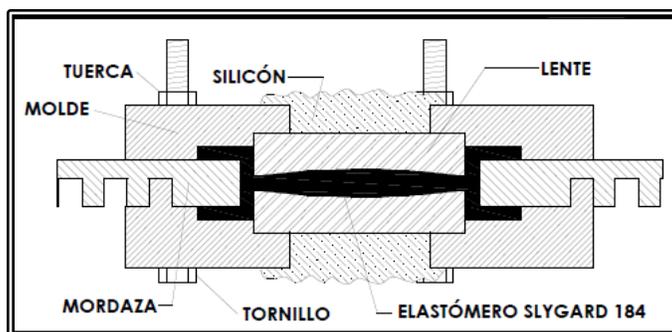


Figura 15. Disposición de los elementos para el vaciado del elastómero.

¹⁰Santiago A., Vázquez S., Iturbide F., Arriaga R. y González J. (2010). *Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer.*

2.1.3. Carcasa

La carcasa integra los elementos del modelo opto-mecánico mencionados anteriormente, que son la montura y la lente flexible, así como las demás piezas, dentro de ellas la lente que simula la córnea, el diafragma óptico que funciona como iris y una cámara CCD que desempeña el papel de la retina. La disposición de dichos elementos se aprecia en la figura 16.

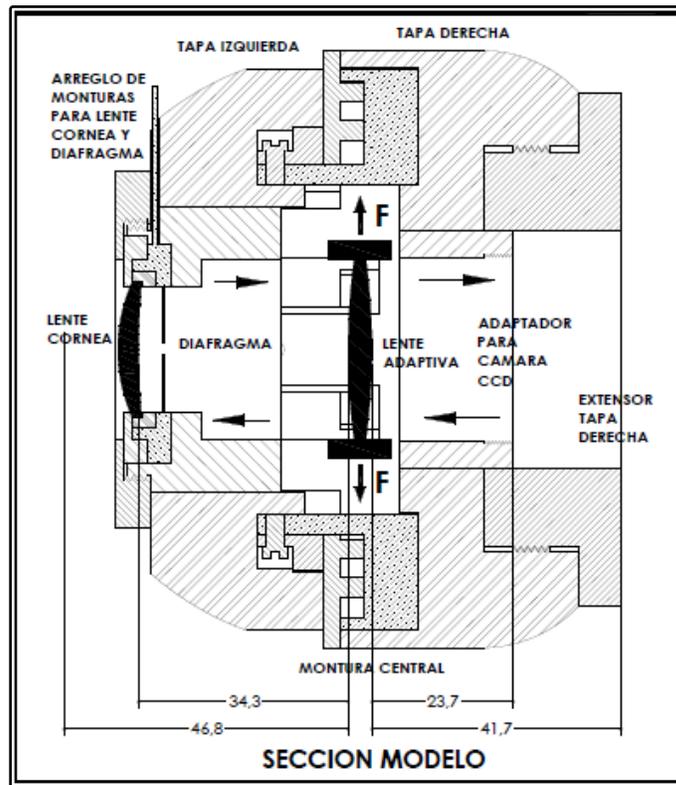


Figura 16. Disposición de los elementos en la carcasa.

La carcasa se encuentra dividida en dos tapas (derecha e izquierda) tipo rondana, que permiten el paso de los rayos de luz en el centro de ellas. Ambas tapas funcionan como cañones que contienen las monturas y que a su vez contienen los elementos ópticos.

Así mismo estas monturas funcionan como pistones que permiten desplazamientos (acercándose o alejándose de la lente flexible) generando así el enfoque del sistema.

Como menciona Arriaga (2008) las monturas para los elementos se basan en el diseño de ensambles ópticos para varias lentes; la montura del diafragma y la lente córnea utiliza una configuración con anillo retenedor roscado, de tal forma que los elementos quedan presionados y sin movimiento perpendicular alguno respecto al eje óptico. También se anexó a la carcasa un cojinete para tornillo sinfín que hace girar el engrane recto de la montura principal; así como una base que permite estabilizar el sistema completo.

2.2. Materiales

Dentro de los materiales con los que están elaboradas las piezas que integran el modelo opto-mecánico se encuentran el aluminio para todas las piezas maquinadas y el PoliDiMetilSiloxano Sylgar 184 (PDMS Sylgar 184) para la lente flexible. Las propiedades de estos materiales se enlistan en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del Aluminio y el PDMS Sylgar 184.

Material	Aluminio	PoliDiMetilSiloxano Sylgar 184
Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Alta conductividad eléctrica y térmica. • Comportamiento no magnético. • Excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión. • Buena resistencia al ambiente. • Es un material maquinable y a diferencia del hierro, los desbastes y acabados se realizan en menor tiempo de máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta Transparencia. • Alta elongación. • Fácil manejo de preparación para una lente. • No tóxico. • No reactivo con el medio ambiente. • Bajo costo.

CAPÍTULO 3

Análisis del modelo opto-mecánico existente

CAPÍTULO 3. Análisis del modelo opto-mecánico existente

Antes de comenzar a generar nuevas propuestas de diseño que contribuyan a la solución de los problemas detectados en el funcionamiento del modelo opto-mecánico propuesto por Arriaga (2008), se considera indispensable analizarlo con el fin de encontrar sus virtudes y defectos. La información obtenida dará la pauta para poder obtener un diseño que ofrezca ventajas y soluciones.

Por tal motivo, se ha realizado un análisis estructural y de funcionamiento del modelo opto-mecánico en su conjunto y posteriormente un análisis funcional y un análisis de valor únicamente de las piezas que conforman la montura mecánica. Se hace énfasis en el análisis de la montura y la SEL ya que es la parte en donde se han detectado los problemas, convirtiéndose en el tema central de esta investigación.

3.1. Análisis estructural y de funcionamiento del modelo opto-mecánico

En este análisis se menciona cada una de las partes que componen el modelo opto-mecánico y como se relacionan entre sí. Para el listado de los componentes se ha hecho un despiece del sistema completo. De igual manera, se expresa la función o misión que cumple cada pieza.

El modelo opto-mecánico consta de un total de 47 piezas, incluyendo tornillos y elementos ópticos. Cada pieza cumple con una determinada función para lo cual fue diseñada, el explosivo se muestra en la figura 17.

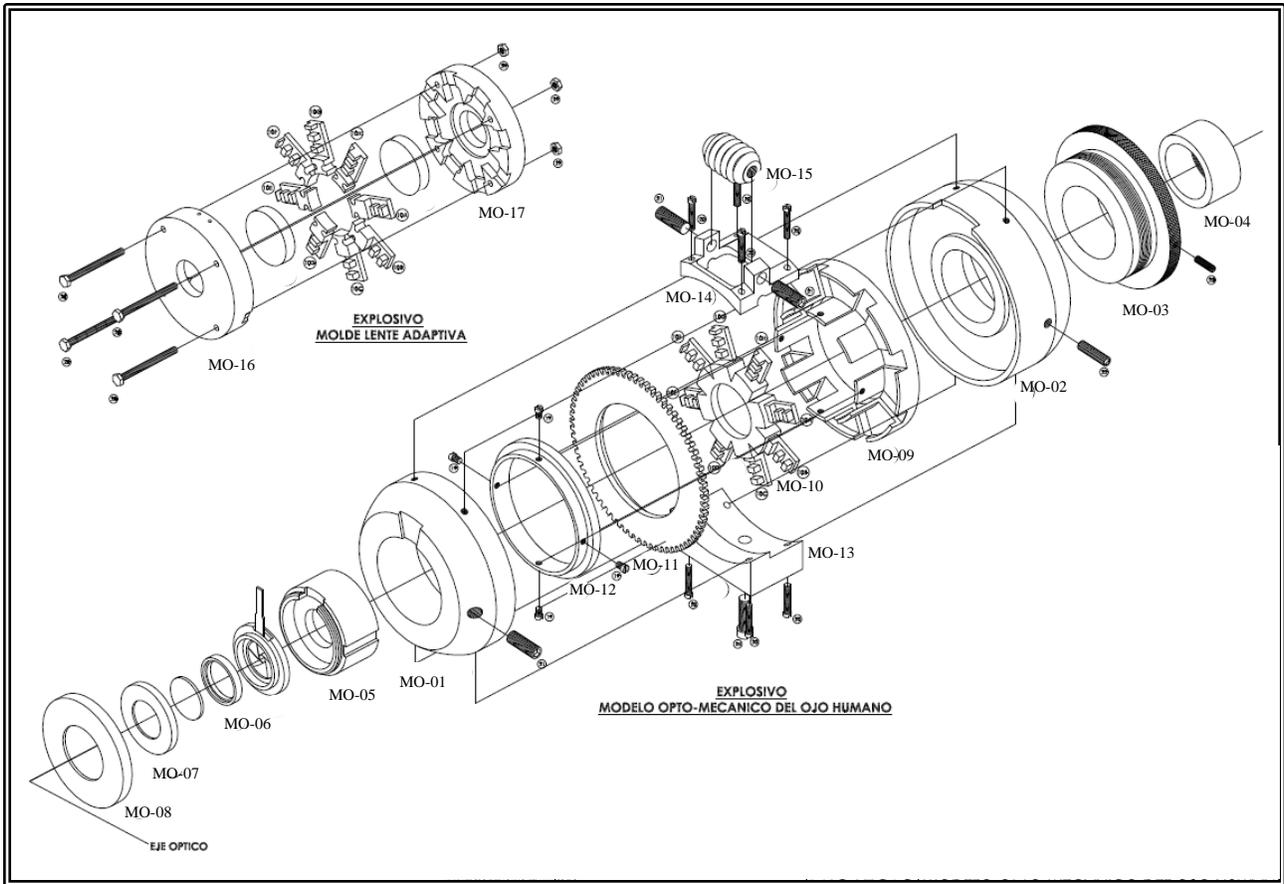
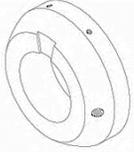
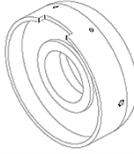
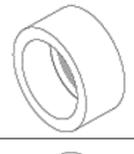
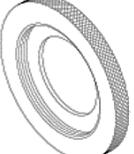
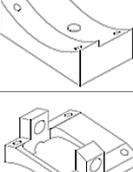
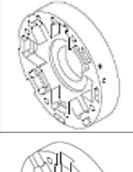
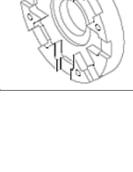


Figura 17. Explosivo del modelo opto-mecánico.

En la tabla 2 se enumeran y presentan gráficamente las piezas que conforman el modelo opto-mecánico, se define además la forma que poseen, con que piezas interactúan y la función que cada una realiza en función a las demás.

Tabla 2. Análisis estructural y de funcionamiento del modelo opto-mecánico.

Nomenclatura	Isométrico	Forma	Interacción con otras piezas	Función
MO-01		Cilíndrica	MO-02, MO-06, MO-07, MO-08	1) Fija el diafragma. 2) Da soporte.
MO-02		Cilíndrica	MO-03	Protege y fija a la montura (SEL).
MO-03		Cilíndrica	MO-02	Cierre de la cámara CCD.
MO-04		Cilíndrica	MO-02	Cámara CCD (Retina).
MO-05		Cilíndrica	MO-01	Base para el diafragma.
MO-06		Cilíndrica	MO-07, MO-08	Protege el lente biconvexo.
MO-07		Cilíndrica	MO-06, MO-08	Base del lente biconvexo.
MO-08		Cilíndrica	MO-06, MO-07	Mantiene el lente biconvexo en su posición con el diafragma.
MO-09		Cilíndrica	MO10, MO-11, MO-12	Soporte de las mordazas.

MO-10		Prismática	MO-09, MO-11, MO-12	8 mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.
MO-11		Cilíndrica	MO-09, MO-10, MO-12	Engrane dentado que aplica fuerza a las mordazas.
MO-12		Cilíndrica	MO-09, MO-10, MO-11	Fija el engrane con las mordazas.
MO-13		Prismática	MO-01, MO-02	Base de la carcasa.
MO-14		Prismática	MO-01, MO-02, MO-15	Base de la rosca sin fin.
MO-15		Cilíndrica	MO-14, MO-11	Rosca que produce el movimiento del engrane.
MO-16		Cilíndrica	X	Molde izquierdo para el vaciado del elastómero
MO-17		Cilíndrica	X	Molde derecho para el vaciado del elastómero.

3.2. Sistema de análisis y evaluación de las partes que conforman el modelo opto-mecánico

Una vez que se conocen las piezas que integran el modelo opto-mecánico, su interacción con las demás y la función de cada una, se realiza una matriz denominada matriz de ponderación la cual ayudará a determinar que pieza o

piezas no resultan indispensables y que pueden ser omitidas o en su caso, modificar su geometría para un mejor funcionamiento.

Para poder entender el procedimiento que se siguió al elegir el nivel de importancia de cada una de las piezas, éstas se clasificaron en tres niveles: la montura, la SEL y la carcasa. Como se mencionó anteriormente los niveles de mayor prioridad son la montura y la SEL.

A dichos niveles se le asignó un valor representativo que indica su grado de importancia, por lo que se utilizó una escala de 1 a 5, siendo de menor valor el 1 y el 5 de mayor, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Valores representativos según el nivel de importancia.

Comparación	Puntos
Algo	1
Poco	2
Bastante	3
Mucho	4
Excepcionalmente	5

Al comparar las piezas del modelo opto-mecánico, una con otra de acuerdo a su funcionamiento, primero se toma en cuenta a qué nivel pertenece, ya sea la SEL, la montura o la carcasa, y una vez clasificada se le asigna el valor representativo. Así de esta manera se podrá saber cuál de las piezas posee mayor valor y con ello cuales se tienen que modificar debido a su importancia y los requerimientos para proponer nuevas alternativas.

En la tabla 4 se muestra la matriz de ponderación en donde se comparan los factores y se evalúan mediante los niveles de ponderación establecidos anteriormente.

Tabla 4. Tabla de ponderación de cada pieza que integra la lente.

Factor	Pieza	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A 	MO-01	/	A/3	A/3	A/3	E/4	A/4	G/4	H/4	I/5	J/5	K/5	L/4	A/2	A/2	A/2	A/2	A/2
B 	MO-02	/	/	B/4	D/4	E/3	B/2	G/2	H/4	I/3	J/5	K/5	B/2	B/2	B/2	B/3	B/2	B/2
C 	MO-03	/	/	/	D/3	E/3	C/3	G/3	H/3	I/3	J/5	K/5	C/3	C/3	C/3	C/3	C/3	C/3
D 	MO-04	/	/	/	/	E/3	F/2	G/3	H/3	I/4	J/5	K/5	D/3	D/3	D/3	D/3	D/3	D/3
E 	MO-05	/	/	/	/	/	E/3	E/3	E/3	I/3	J/5	K/5	E/3	E/3	E/3	E/3	E/3	E/3
F 	MO-06	/	/	/	/	/	/	G/3	H/2	I/3	J/5	K/5	L/3	F/4	F/3	F/3	F/3	F/3
G 	MO-07	/	/	/	/	/	/	/	G/3	I/3	J/5	K/5	G/4	G/4	G/3	G/3	G/3	G/3
H 	MO-08	/	/	/	/	/	/	/	/	I/4	J/5	K/5	H/4	H/4	H/3	H/3	H/3	H/3
I 	MO-09	/	/	/	/	/	/	/	/	/	J/5	K/5	I/4	I/4	I/3	I/3	I/3	I/3
J 	MO-10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	K/5	J/4	J/4	J/3	J/3	J/3	J/3
K 	MO-11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	K/4	K/4	K/3	K/3	K/3	K/3
L 	MO-12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	L/4	L/3	L/3	L/3	L/3
M 	MO-13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	M/3	M/3	M/3	M/3
N 	MO-14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	N/3	N/3	N/3
O 	MO-15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	O/3	O/3
P 	MO-16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Q/2
Q 	MO-17	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

El número de puntos para cada factor se obtuvo de la suma de los valores asignados al compararlos entre sí; de igual manera se obtuvieron los porcentajes respectivos. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Tabla de comparación y asignación de puntos.

Factor	Puntos	Porcentaje (%)
A	23	5.088
B	19	4.203
C	21	4.646
D	25	5.531
E	40	8.849
F	18	3.982
G	38	8.407
H	36	7.965
I	48	10.619
J	65	14.381
K	70	15.487
L	20	4.425
M	12	2.655
N	9	1.991
O	6	1.327
P	0	0
Q	2	.442
Total	452	100%

En base a los resultados obtenidos, las piezas que poseen menor puntuación son las que pueden ser sustituidas, modificadas o en su caso eliminadas, debido que la función que desempeñan es de menor prioridad para que el sistema funcione; por tanto se puede prescindir de ellas. Estas se presentan en las tablas 6 y 7, siguiendo el orden de importancia descrito

anteriormente, que es en primer plano la montura y la SEL y por último la carcasa.

Tabla 6. Pieza con menor grado de función en la montura.

Montura/SEL		
Factor	Pieza	Menor puntuación (%)
F 	MO-06	3.982

Tabla 7. Piezas con menor grado de función en la carcasa.

Carcasa		
Factor	Pieza	Menor puntuación (%)
	M	2.655
	N	1.991
	O	1.327

3.3. Análisis funcional y análisis de valor de la montura mecánica-SEL

El análisis de valor tiene como objetivo mejorar el valor percibido del producto mediante el análisis de sus funciones y los costes asociados a cada una. Se sustenta el método en la filosofía de que el cliente no busca un producto determinado sino la satisfacción de una necesidad, la cual se logrará mejor si el valor percibido del producto (entendido como la relación entre los beneficios aportado frente a sus costes) es más grande.

Es un método para diseñar o rediseñar un producto o servicio, de forma que asegure, con mínimo costo, todas las funciones requeridas. Con la aplicación del análisis del valor no sólo se consigue una reducción de los

costes, sino que además se obtiene una mejora de la calidad y otras relacionadas con ambos factores como son, mejoras en el funcionamiento y en los métodos de elaboración, facilidad y seguridad en las tareas de mantenimiento¹¹.

Al aplicar el análisis de valor, primeramente se selecciona el objeto a estudiar, en este caso se ha seleccionado a la montura mecánica-SEL que es la parte en donde se han detectado los problemas y que por consiguiente no está realizando bien su función.

Se deben tener presentes las funciones y determinar cuál es la función principal y las secundarias. Para ello se ha elaborado la tabla 8 donde se especifica la función principal de la montura mecánica-SEL, que es lo que hace y para lo que fue creada.

Como la montura se compone de varias partes, se describe además la función de cada elemento y cómo cada uno contribuye a la función principal.

¹¹ Obtenido de: <http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4114analisis.aspx>

Tabla 8. Identificación y clasificación de funciones.

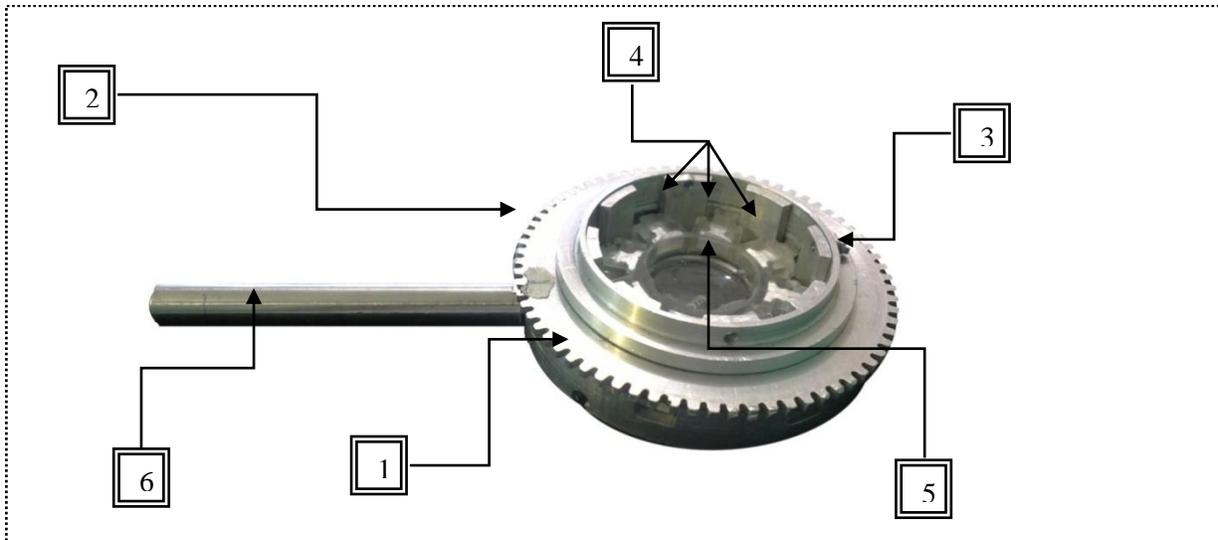


Figura	N°	Elemento	Función	Principal	Secundaria
-	-	Montura mecánica-SEL	Posicionar y fijar la lente con exactitud y rigidez para obtener las imágenes de forma definida.	X	
	1	Base guía para mordaza y eje para engrane.	Mantiene a las mordazas y al engrane en su posición.		X
	2	Engrane recto con espiral.	Incrementa o disminuye las fuerzas radiales linealmente al girarlo.		X
	3	Aro contenedor de mordazas y espiral.	Mantiene al engrane y la base guía en su posición al aplicar las fuerzas.		X
	4	Mordazas ranuradas para espiral.	Sujetan la lente adaptiva a través de un gancho, que permite que el material no se separe de la mordaza por la aplicación de las fuerzas radiales.		X
	5	SEL (Solid Elastic Lens)	Permite la deformación y recuperación de la forma original de la lente cuando las fuerzas radiales son suprimidas.		X
	6	Mango para sujetar la montura.	Brinda apoyo al sostener la montura y aplicarle fuerza.		X

Habiendo realizado la clasificación de las funciones se centra la atención en la función principal de la montura mecánica-SEL y se enlistan nuevamente las funciones secundarias, puede ser que permanezcan igual o que cambien durante el análisis.

En la tabla 9 se muestran las funciones secundarias que debe tener el producto ideal para poder cumplir la función principal, se toman en cuenta algunas funciones agregadas como el brindar apoyo al sostener la montura y contar con un sistema de medición.

Tabla 9. Ponderación de funciones.

Producto ideal		Elementos del producto analizado								Índice del Valor F/C
Función	Peso (%)	Base para mordazas	SEL	Mordazas	Aro contenedor	Engrane recto con espiral	Mango para montura	Coste real	Peso (%)	
A- Deformar y recuperar forma original.	30%	-	x-90% 981	x-30% 246.3	-	-	-	1227.3	23.05%	1.30
B- Sujetar lente adaptativa.	5%	-	-	x-30% 246.3	-	-	-	246.3	4.62%	1.08
C- Posicionar y mantener fija la montura-SEL.	15%	x-50% 630	-	-	x-80% 40	x-35% 701.4	-	1371.4	25.75%	.58
D- Transmitir fuerza.	20%	-	-	x-40% 328.4	-	x-30% 601.2	-	929.6	17.46%	1.14
E- Contener mecanismos.	10%	x-30% 378	x-10% 109	-	x-20% 10	x-15% 300.6	-	797.6	14.98%	.67
F- Proteger SEL.	5%	x-10% 126	-	-	-	-	-	126	2.37%	2.11
G- Brindar apoyo al sostener la montura.	5%	-	-	-	-	-	x-100% 100	100	1.88%	2.66
H- Contar con un seguro para fijar el engrane.	5%	x-10% 126	-	-	-	x-10% 200.4	-	326.4	6.13%	.81
I- Contar con un sistema de medición.	5%	-	-	-	-	x-10% 200.4	-	200.4	3.76%	1.33
Costes totales de los elementos.		\$1260	\$1090	\$821	\$50	\$2004	\$100	\$5325	100%	

El peso asignado (color gris) es determinado por la importancia de cada función; se obtuvo un costo aproximado de los elementos de la montura (color verde) tomando en cuenta el material y tiempo de maquinado (apéndice A). A partir del costo de los componentes se determinó un coste real de cada una de las funciones (color rojo), y su equivalente en porcentaje (color azul).

Comparando el coste con la importancia de cada función se obtuvo el índice de valor.

$$\mathbf{Valor} = \frac{\mathbf{Funciones}}{\mathbf{Coste}}$$

De acuerdo al índice de valor obtenido en el análisis, las conclusiones obtenidas y que habrán de servir de partida para proponer soluciones a los problemas detectados son las siguientes:

- Se observa que el coste de los elementos está concentrado en cuatro elementos, mientras que el resto prácticamente no aportan coste del material.
- Las piezas o mecanismos que incrementan su valor de acuerdo a su función son: **A-** Deformar y recuperar forma original, **B-**Sujetar lente adaptativa, **D-**Transmitir fuerza, **F-**Proteger SEL, **G-**Brindar apoyo al sostener la montura, **I-**Contar con un sistema de medición. Por tanto tiene relación el coste con la función realizada.
- Las funciones agregadas como: **C-** Posicionar y mantener fija la montura-SEL y **E-** Contener mecanismos, no contribuyen a la función principal, sin embargo pueden ser implementadas debido a que su coste es relativamente bajo.

CAPÍTULO 4

Propuestas de diseño de la montura

CAPÍTULO 4. Propuestas de diseño de la montura

En apartados anteriores se especificó la problemática a solucionar para mejorar el desempeño de la lente, se definieron y analizaron las funciones de cada una de las piezas que conforman el modelo opto-mecánico.

Para este capítulo corresponde el desarrollo de ideas que ayuden a mejorar el funcionamiento de la montura y su desempeño óptico.

4.1. Requerimientos de Diseño

Tomando en cuenta los factores más importantes para el diseño, se desarrolló la tabla 10 que permite desglosar y especificar las características técnicas que ayuden a delimitar el diseño de las propuestas.

Debido a que la montura necesita mejorarse, es necesario tener en cuenta los requerimientos mecánicos y constructivos que harán posible su fabricación. Puesto que el proyecto se desarrolló por completo en la UTM es necesario delimitar el diseño anteponiendo las herramientas con las que se cuentan.

Tabla 10. Tabla de requerimientos de diseño.

Características del sistema	
Mecanismos	Los principios que darán funcionalidad a la montura serán cinemáticos.
Resistencia	Los esfuerzos a soportar por la montura serán éstos de compresión, tensión y cortantes.
Número de componentes	Se utilizarán las piezas que integran el modelo opto-mecánico existente, modificando las que sean necesarias o agregando nuevas piezas, en base al rediseño de la montura mecánica-SEL.
Unión	Las piezas podrán ser ensambladas o en su caso utilizando algunos tornillos o pernos.
Manipulación	Los mecanismos deben ser fáciles de manejar transmitiendo los movimientos con la mano.
Antropometría	Debido a que el modelo opto-mecánico existente es manipulado con la mano, las piezas rediseñadas deberán estar dentro de un rango de 50 a 150 mm.

Mantenimiento	Ensamblajes sencillos, fáciles de manipular y que no implique el uso de maquinaria para su mantenimiento.
Maquinaria	Para el diseño de las piezas se contemplará que estas puedan ser construidas utilizando la maquinaria existente en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
Estandarización de los componentes	Los materiales y piezas que sea necesario comprar deberán ser Standard y comerciales de fácil adquisición (Tornillos ISO 4762).
Materias primas	Se continuará con el uso de los materiales como el aluminio y acero inoxidable para las piezas maquinadas y/o compradas. Para el caso de moldes se utilizará acrílico y Sylgard 184 para la elaboración de la lente elástica.
Tolerancias	El cortador mínimo a proponer es el de 1/16 plg. y tolerancias de +/- 0.05 mm.

4.2. Diseños Preliminares

Una vez establecido los requerimientos de diseño, se continúa con la realización de nuevas propuestas del sistema de sujeción de la lente elástica SEL. Se presentan a continuación 4 propuestas, encaminadas a buscar un mejor funcionamiento.

4.2.1. Propuesta 1

Propuesta basada en la pieza original de la mordaza (figura 18), pero proponiendo mayor cantidad de mordazas separadas equidistantes una de otra para evitar espacios en los que no se apliquen fuerzas ya que provocan una mala elongación de la SEL (figura 19) y por consecuencia generan aberraciones. Para este caso se adicionan 5 mordazas más a la lente flexible respecto al modelo original que es la que contiene los ganchos de las mordazas haciendo un total de 13 mordazas (figura 20), con el fin de obtener mayor área de contacto sobre la lente y que las fuerzas de las mordazas se transmitan de manera más homogénea.

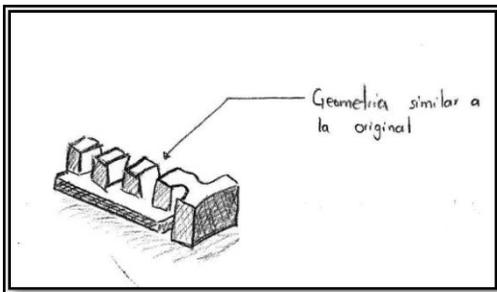


Figura 18. Modelo original de la mordaza.

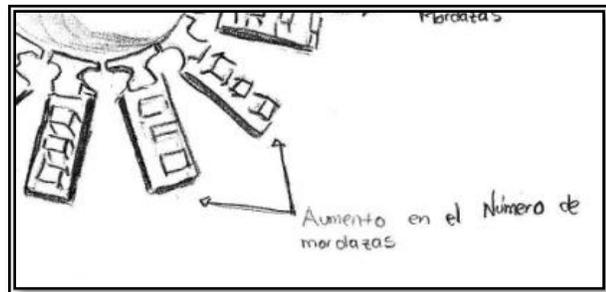


Figura 19. Disminución de espacios entre mordazas.

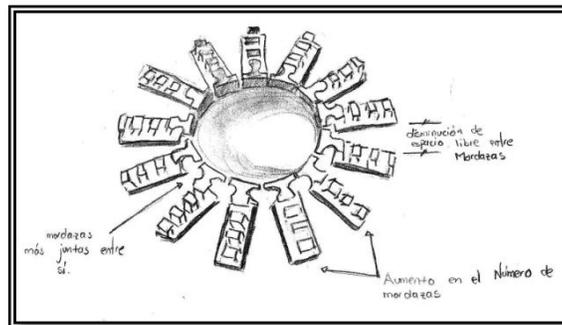


Figura 20. Aumento en el número de mordazas.

4.2.2. Propuesta 2

Una vez analizado el funcionamiento de apertura de la lente, en esta propuesta se modifica la geometría de la mordaza, ampliando la parte que sujeta al material de la lente y formando una "T" (figura 21), con una parte en la región superior y otra en la región inferior para poder entrelazarse con la siguiente mordaza (figura 22). La finalidad de una nueva forma en la mordaza es que éstas tengan mayor área de contacto sobre la lente para que a través de las fuerzas transmitidas se puedan obtener deformaciones más amplias. De esta manera se incrementa el número de mordazas a 10 (figura 23) respecto al modelo original que cuenta solo con 8 mordazas.

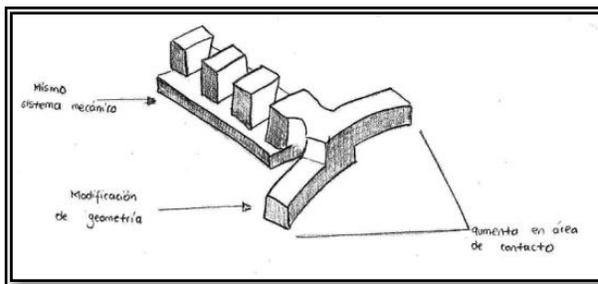


Figura 21. Modificación de la geometría de la mordaza.

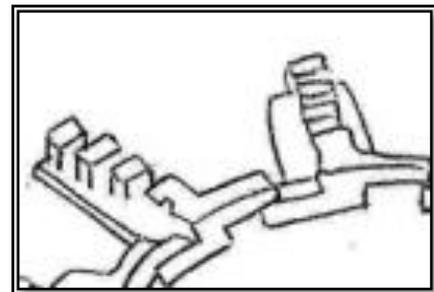


Figura 22. Entrelazado de mordazas.

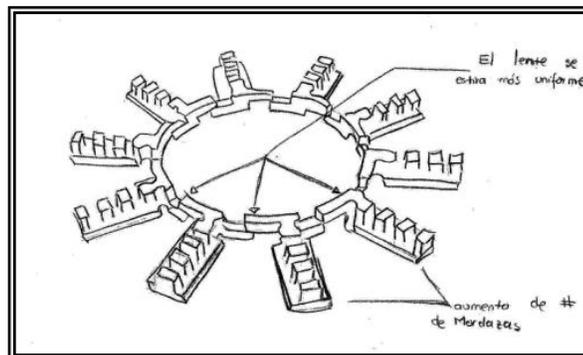


Figura 23. Ampliación de la geometría y aumento de mordazas.

4.2.3. Propuesta 3

En la siguiente propuesta la lente flexible (SEL) se encuentra fija a un anillo de aluminio (figura 24), el cual sirve como soporte para que otro anillo de menor diámetro pase a través de la SEL (figura 25) contenida en un dispositivo que mediante el giro de una perilla hace avanzar el aro (figura 26). Las fuerzas de tensión ejercidas al girar la perilla, producen elongación en la SEL y origina un desplazamiento uniforme en la lente como se muestra en la figura 27.

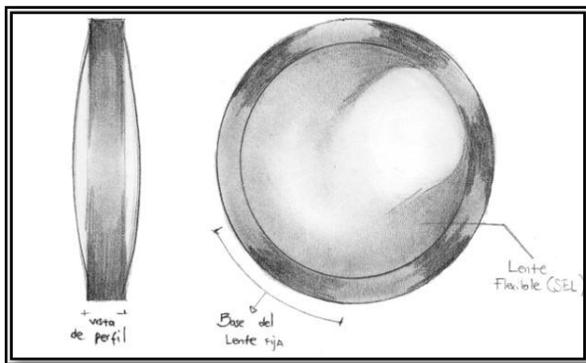


Figura 24. Anillo fijo a la lente flexible.

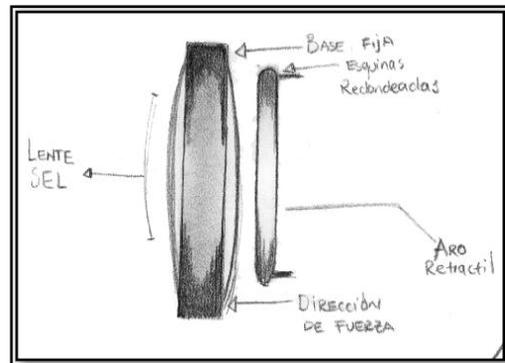


Figura 25. Anillo retráctil colocado en la parte posterior.

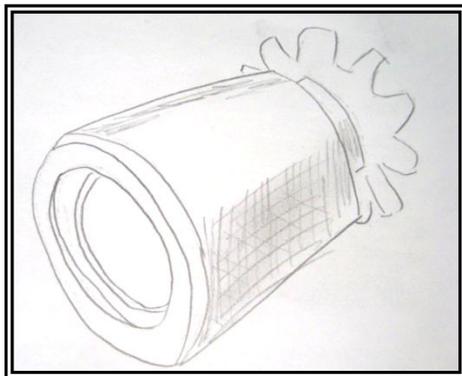


Figura 26. Dispositivo contenedor.

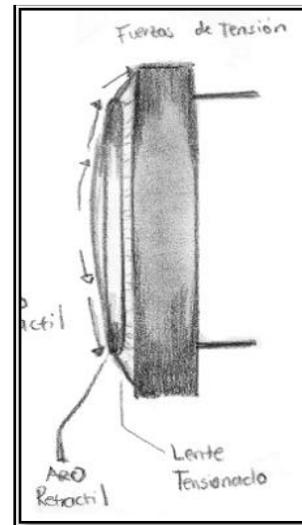


Figura 27. Elongación de la lente.

4.2.4. Propuesta 4

Esta propuesta consiste en la fragmentación de un anillo en 32 partes iguales sujetas a la lente flexible (figura 28), funcionan como las mordazas del modelo original pero situados mucho más juntos entre sí. Cada uno de los pequeños fragmentos se encuentra sujeto mediante hilos de acero que rodean un anillo de aluminio que a su vez funciona como soporte para los hilos al aplicarles una fuerza (figura 29). Los hilos de acero son sujetados en la parte inferior por otro anillo que al ser jalado permite un desplazamiento uniforme en la lente y con mayor precisión. El funcionamiento de la montura se muestra en la figura 30 y el sistema completo del mecanismo se muestra en la fig. 31.

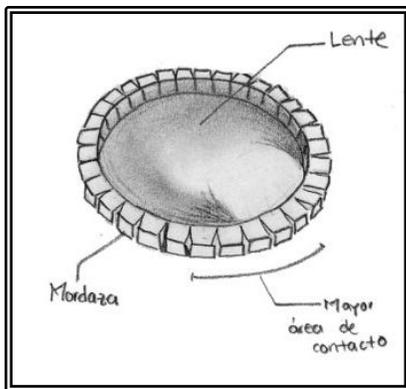


Figura 29. Fragmentación del anillo.

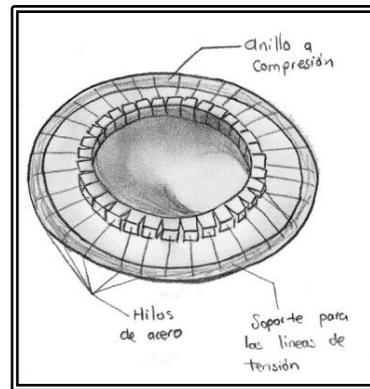


Figura 28. Soporte para los hilos de acero sujetos a los fragmentos.

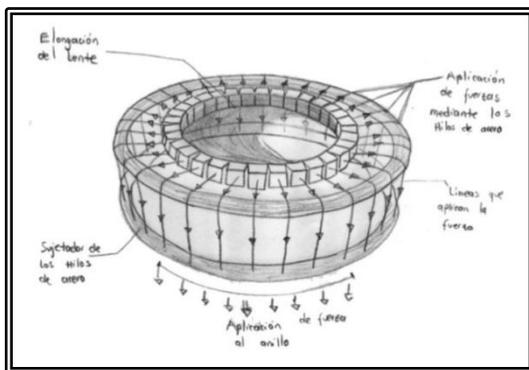


Figura 31. Funcionamiento de la montura.

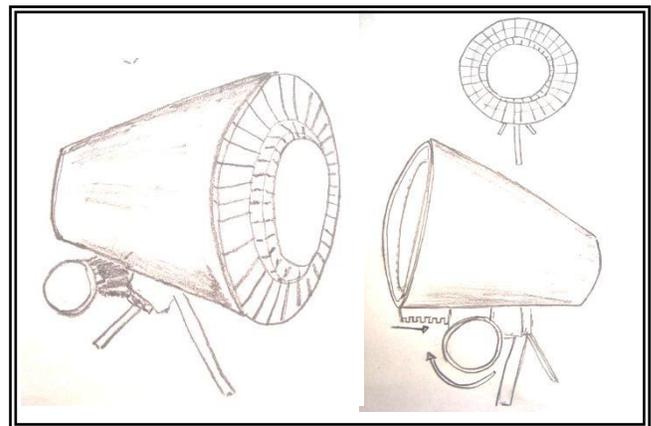


Figura 30. Sistema completo del mecanismo.

4.3. Digitalización de modelos

A continuación se presentan los modelos tridimensionales realizados en base a las propuestas planteadas anteriormente. Se utilizó el software Rhino® para el modelado de las piezas y 3DMax® para renderizados y animaciones que ayudaran a visualizar algunos mecanismos.

4.3.1. Modelo 1

En base a la propuesta 1 se presenta a continuación el modelo de la geometría original de la mordaza (figura 32) y la cantidad de mordazas que fueron agregadas a la lente flexible SEL. Se trata en total de 13 mordazas distribuidas uniformemente en el perímetro de la lente (figura 33).

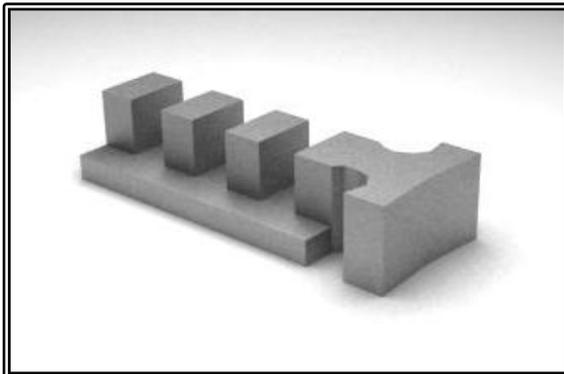


Figura 32. Modelo original de la mordaza.

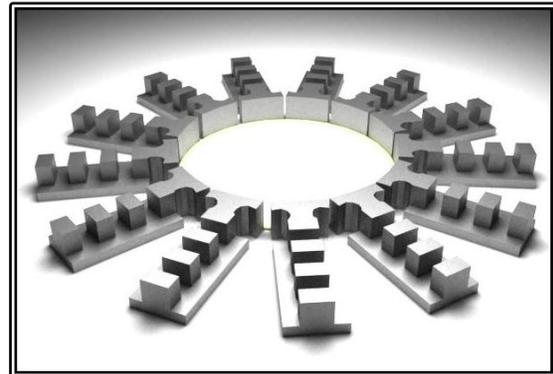


Figura 33. Incremento a 13 mordazas.

En la figura 34 se puede apreciar que al aumentar el número de mordazas se genera mayor área de contacto en la lente flexible SEL, por lo que se obtiene un desplazamiento uniforme.

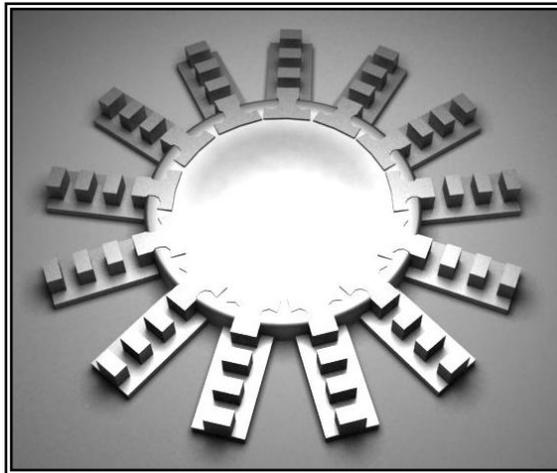


Figura 34. Mayor área de contacto al incrementar el número de mordazas.

Existen algunas otras piezas de la montura que interactúan de manera directa o indirectamente con las mordazas, por lo que al aumentar el número de mordazas en la lente estas piezas tendrían que ser modificadas para que puedan adaptarse. Cabe mencionar que para esta propuesta las modificaciones de las piezas son mínimas y no alteran la integridad de la carcasa.

Las piezas a modificar, incluyendo el aumento de las mordazas se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Piezas a modificar para la propuesta 1.

No. de pieza	Isométrico	Función	Modificar/eliminar
MO-09		Soporte de las mordazas.	Modificar su geometría.
MO-10		Mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.	Incrementar el número de mordazas.
MO-17		Base para el vaciado del elastómero.	Modificar su geometría.

4.3.2. Modelo 2

Para la propuesta 2 se ha elaborado el modelo de la mordaza, la cual mantiene características del modelo original pero que ha sido modificada en la parte superior que sujeta la lente flexible SEL (figura 35). Para este caso el número de mordazas aumentó a 10 (figura 36), las piezas se enlazan entre sí para una mayor área de contacto.

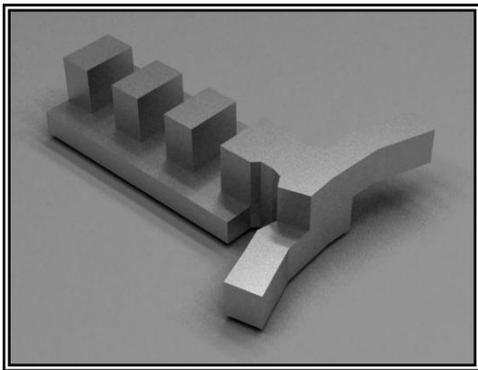


Figura 35. Modificación de la geometría de la mordaza.

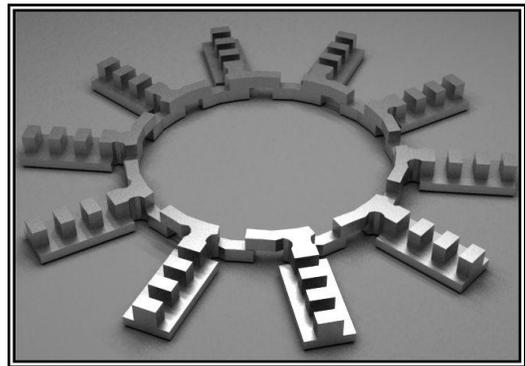


Figura 36. Incremento a 10 mordazas.

En la figura 37 se muestra el área de contacto por parte de las 10 mordazas hacia la lente flexible, de manera que al aplicar las fuerzas se mantenga una elongación uniforme.

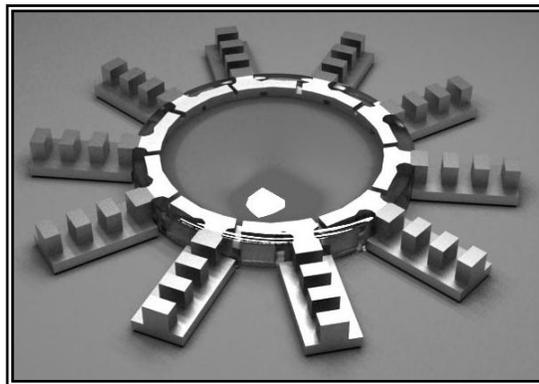


Figura 37. Mordazas incrustadas en la lente flexible.

De igual manera que en la propuesta 1 existen piezas a modificar debido al cambio en la geometría e incremento de las mordazas, éstas se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Piezas a modificar para la propuesta 2.

No. de pieza	Isométrico	Función	Modificar/eliminar
MO-09		Soporte de las mordazas.	Modificar su geometría.
MO-10		Mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.	Modificar su geometría e incrementar el número de mordazas.
MO-17		Base para el vaciado del elastómero.	Modificar su geometría.

4.3.3. Modelo 3

Para este caso las mordazas han sido sustituidas por el anillo de aluminio que sujetará a la lente flexible, el modelo se presenta en la figura 38. En base a la propuesta 3, existe un segundo anillo de aluminio que se colocará en la parte trasera de la lente flexible SEL y que mediante un sistema de guías será introducido a la lente flexible para lograr estirarla, tal y como se aprecia en la figura 39.



Figura 38. Lente flexible sujeta a un anillo.

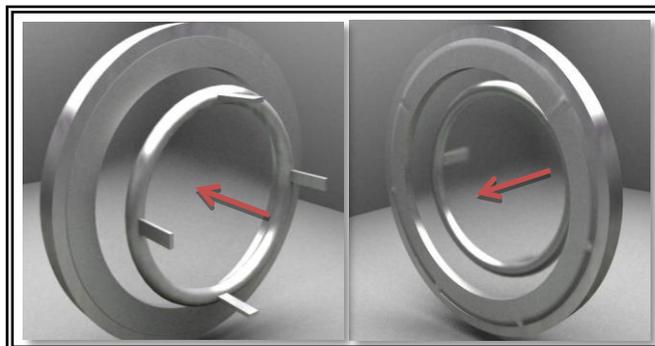


Figura 39. Anillo posterior.

El funcionamiento del sistema interno del dispositivo se presenta en la figura 40, se puede observar como el anillo colocado en la parte posterior de la lente flexible SEL se introduce en la lente para estirla de manera uniforme.

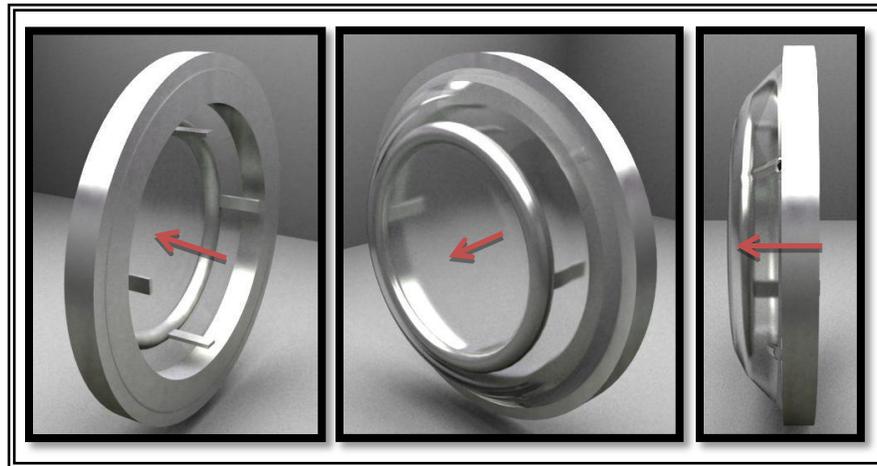


Figura 40. Lente flexible estirada por la fuerza del anillo posterior.

El sistema completo del modelo es mostrado en la figura 41, en la que se muestra la perilla giratoria que provoca el desplazamiento del aro para estirar la lente.

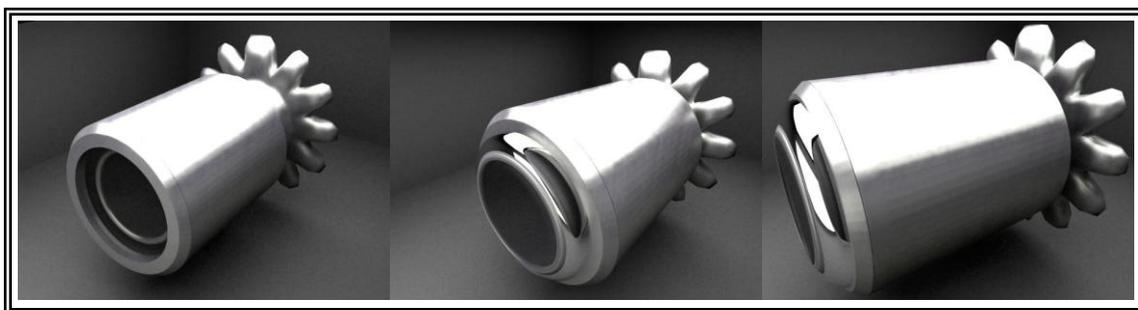


Figura 41. Sistema completo de la propuesta 3.

Realizando un corte al dispositivo, se puede observar en su interior la forma de rosca que permite que la perilla gire y origine el desplazamiento del anillo tal como se muestra en la figura 42.

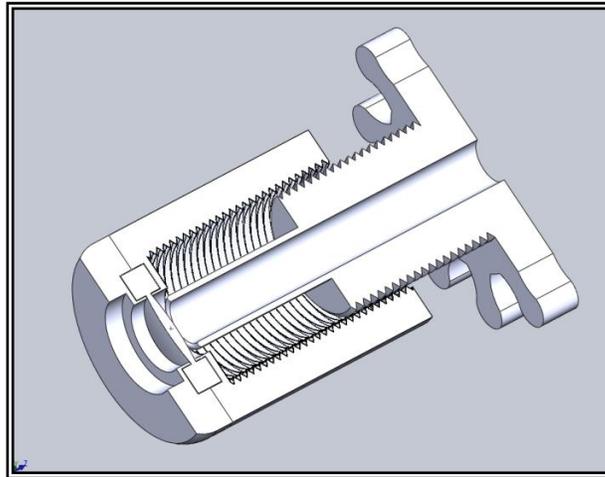


Figura 42. Corte del dispositivo de la propuesta 3.

La propuesta implica menor número de piezas, haciendo el mecanismo más práctico y ligero, sin embargo, para poder implementarlo en la carcasa aumenta el número de piezas a modificar o eliminar. Estas piezas se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. Piezas a modificar o eliminar para la propuesta 3.

No. de pieza	Isométrico	Función	Modificar/eliminar
MO-09		Soporte de las mordazas.	Eliminar
MO-10		Mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.	Eliminar
MO-11		Engrane dentado que aplica fuerza a las mordazas.	Eliminar
MO-12		Fija el engrane con las mordazas.	Eliminar
MO-13		Base de la carcasa.	Eliminar
MO-14		Base de la rosca sin fin.	Eliminar

MO-15		Rosca que produce el movimiento del engrane.	Eliminar
MO-17		Base para el vaciado del elastómero.	Modificar su geometría

4.3.4. Modelo 4

La propuesta 4 implica seccionar un anillo en partes iguales (figura 43), cada segmento estará incrustado en la lente flexible para que pueda estirarse. Todos a su vez son sujetos por un fino y resistente cable de acero flexible que pasan por un segundo anillo ranurado que tensiona al lente flexible, como se muestra en la figura 44.

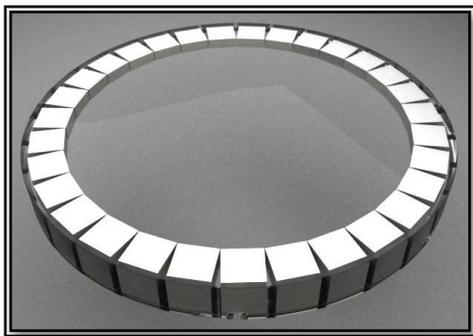


Figura 43. Anillo seccionado en partes iguales.

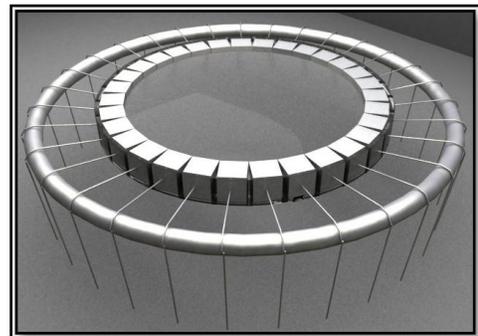


Figura 44. Lente flexible tensionado mediante los cables de acero.

Una vez tensionada la lente, los extremos de los cables de acero se sujetan en un tercer anillo que proporcionará la fuerza de tensión para jalar las secciones del segundo anillo (figura 45). El funcionamiento completo se aprecia en la figura 46, donde se aprecia también un desplazamiento uniforme en la lente.

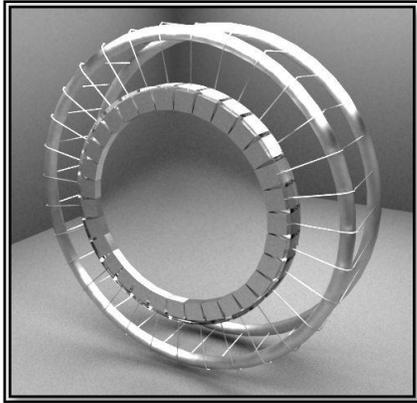


Figura 46. Cables de acero que tensionan la lente.

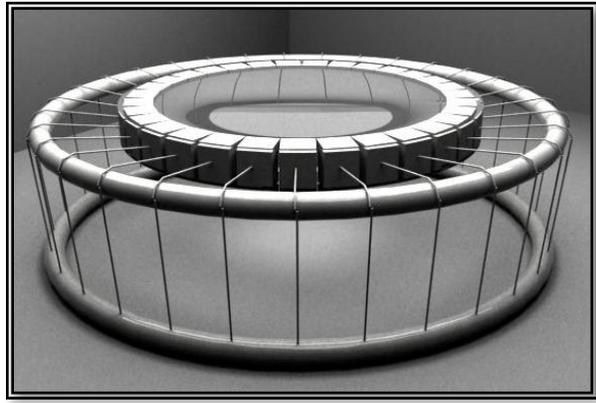


Figura 45. Elongación de la lente flexible producida por los cables de acero.

El sistema completo del modelo se muestra en la figura 47, el cual posee una perilla giratoria que provoca el desplazamiento del aro para estirar la lente. Consta de dos cilindros, contenidos uno dentro de otro; en el cilindro interior están sujetos los alambres y funciona como ajuste de distancia que al jalarlos estira la lente tal como se muestra en la figura 47.

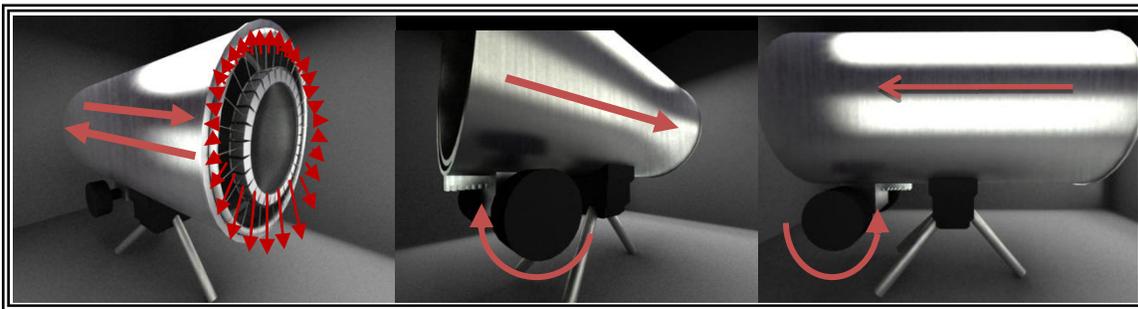
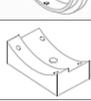
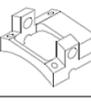


Figura 47. Modelo del sistema completo de la montura.

Las piezas a modificar o eliminar al implementar esta propuesta se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Piezas a modificar o eliminar para la propuesta 4.

No. de pieza	Isométrico	Función	Modificar/eliminar
MO-09		Soporte de las mordazas.	Eliminar
MO-10		Mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.	Modificar
MO-11		Engrane dentado que aplica fuerza a las mordazas.	Eliminar
MO-12		Fija el engrane con las mordazas.	Eliminar
MO-13		Base de la carcasa.	Eliminar
MO-14		Base de la rosca sin fin.	Eliminar
MO-15		Rosca que produce el movimiento del engrane.	Eliminar
MO-17		Base para el vaciado del elastómero.	Modificar su geometría.

4.4. Método de evaluación de alternativas

Una vez que las ideas han sido generadas y que se han elaborado los modelos tridimensionales para cada propuesta, el siguiente paso es realizar una evaluación de las alternativas y seleccionar la que mejor cumpla con los requerimientos de diseño.

Para ello se utilizó el **método del valor técnico ponderado**¹² y a continuación se lleva a cabo su desarrollo.

Primeramente se parte del hecho de que se han establecido un conjunto de criterios (requerimientos de diseño, planteados en el apartado 4.1.) para la valoración de las distintas soluciones. Un método que se puede articular para la jerarquización de los criterios es el de las comparaciones apareadas, consistente en formar una matriz de dominancia binaria (tabla 15) y asignar a la casilla correspondiente i-j un "1" si el criterio de la fila (i) es más importante que el de la columna (j) y "0" en caso contrario. La suma de los unos de cada fila (i) permitirá establecer la jerarquía de criterios y fijar su peso, en una escala de 1 a 10.

Tabla 15. Comparaciones apareadas para la jerarquización de criterios.

	Mecanismos	Resistencia	No. de componentes	Unión	Manipulación	Antropometría	Mantenimiento	Maquinaria	Estandarización	Materias primas	Tolerancias	Total	Peso (1-10) g
Mecanismos	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10
Resistencia	1	-	0	1	0	0	1	0	0	1	0	4	8
No. de componentes	0	1	-	1	0	0	1	0	0	0	0	2	6
Unión	0	1	0	-	0	0	1	0	0	0	0	2	6
Manipulación	1	0	1	0	-	1	0	0	0	0	0	3	7
Antropometría	1	0	0	0	1	-	1	0	0	0	0	3	7
Mantenimiento	1	0	0	1	0	0	-	1	0	1	0	4	8
Maquinaria	1	0	0	0	0	0	1	-	0	1	1	4	8
Estandarización	1	0	1	0	0	0	1	1	-	1	0	5	9
Materias primas	1	1	0	0	1	0	1	1	0	-	0	5	9
Tolerancias	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-	3	7

¹² Aguayo, F. y Soltero, V.M. (2003). *Metodología del diseño industrial: Un enfoque desde la ingeniería concurrente*. RA-MA.

Posteriormente se estructuró una tabla en la que se comparan cada una de las alternativas realizadas con los requerimientos de diseño (tabla 16).

Para cada una de las alternativas se valora su bondad según el criterio asignándole una puntuación "g" en una escala de 1 a 10 ($g_{max}=10$), procediéndose seguidamente a determinar el valor técnico ponderado para las distintas alternativas por la siguiente fórmula:

$$VTP = (\sum Pi * gi) / (gmax * \sum Pi)$$

Tabla 16. Matriz de valoración mediante valor técnico ponderado.

Propuesta Criterio	Peso P_i	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4	
		g_{1i}	$P_i * g_{1i}$	g_{2i}	$P_i * g_{2i}$	g_{3i}	$P_i * g_{3i}$	g_{4i}	$P_i * g_{4i}$
Mecanismos	10	8	80	8	80	7	70	9	90
Resistencia	8	8	64	8	64	6	48	8	64
Número de componentes	6	8	48	9	54	9	54	6	36
Unión	6	8	48	7	42	8	48	8	48
Manipulación	7	8	56	8	56	7	49	7	49
Antropometría	7	8	56	8	56	7	49	7	49
Mantenimiento	8	9	72	9	72	8	64	6	48
Maquinaria	8	8	64	8	64	8	64	7	56
Estandarización	9	8	72	8	72	8	72	7	63
Materias primas	9	8	72	8	72	8	72	8	72
Tolerancias	7	9	63	9	63	8	56	7	49
Suma	85		695		695		646		624
VTP		0.8176		0.8176		0.76		0.7341	

El resultado obtenido al evaluar las diferentes alternativas es que las propuestas 1 y 2 cumplen satisfactoriamente con la mayoría de los requerimientos de diseño, obteniendo igual número de puntuación en el valor técnico ponderado.

Dadas las características similares con que cuentan ambas propuestas, se optó por unificarlas y generar una propuesta final. Se realizó un ajuste en el número de mordazas, como la propuesta 1 cuenta con 13 mordazas y la propuesta 2 cuenta con 10, se obtuvo un promedio entre ambas, teniendo como resultado una propuesta con 12 mordazas y manteniendo la geometría de la propuesta 2, además de que los esfuerzos aplicados son simétricos, aumentando considerablemente el área de contacto con la lente elástica SEL como se muestra en la figura 48.

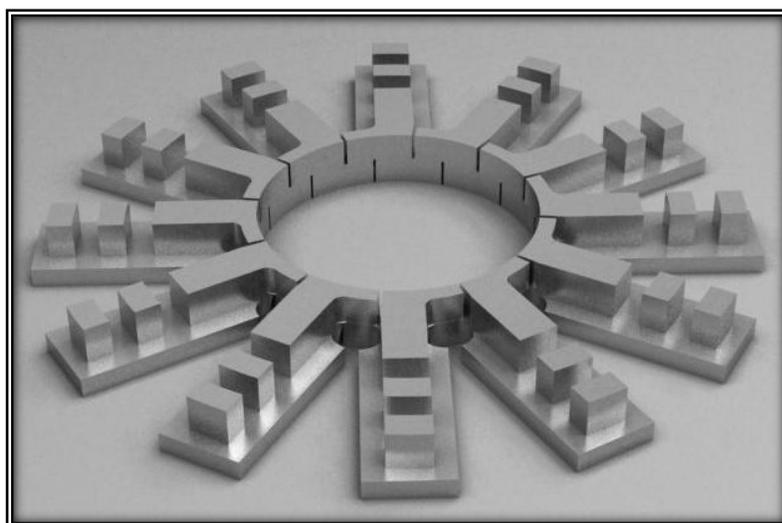


Figura 48. Modelo final del sistema de sujeción de la lente.

Para la propuesta seleccionada, se tendrán que modificar algunas otras piezas que forman parte de la montura, las cuales se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Piezas a modificar para la propuesta seleccionada.

No. de pieza	Isométrico	Función	Modificar/eliminar
MO-09		Soporte de las mordazas.	Modificar su geometría.
MO-10		Mordazas que aplican fuerzas radiales incrustadas en la SEL.	Modificar su geometría e incrementar el número de mordazas.
MO-17		Base para el vaciado del elastómero.	Modificar su geometría.

4.5. Diseño final de la montura mecánica

En la figura 49 se presenta el sistema de sujeción de la lente elástica SEL que ha sido seleccionado como la propuesta óptima, integrado a las demás piezas que forman parte de la montura, una vez que estas hayan sido modificadas.

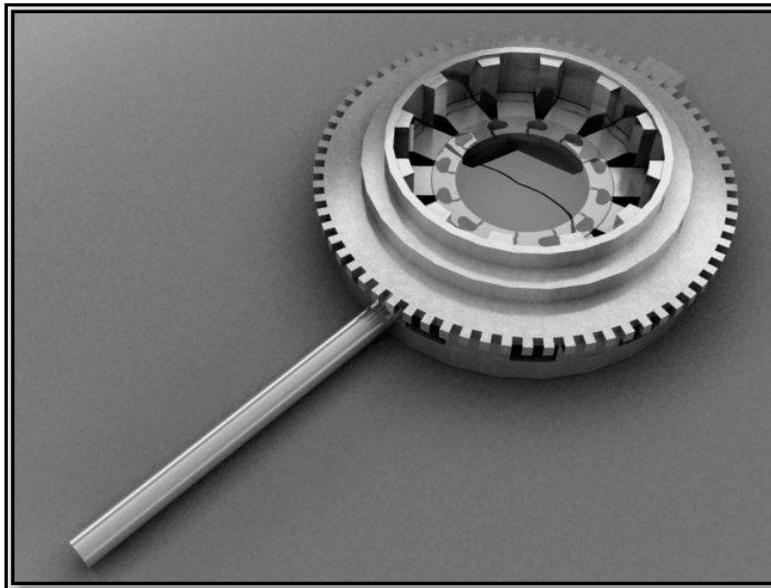


Figura 49. Sistema de sujeción de la lente, integrado a las demás piezas de la montura.

4.6. Propuesta del sistema de movimiento del engrane

Al hacer girar el engrane con la mano se logra tensar la lente y permitir la deformación y recuperación de su forma original, sin embargo resulta necesario implementar algún mecanismo para que el movimiento se realice con mayor facilidad. El mecanismo propuesto consiste en implementar relieves que ayuden a tener mejor apoyo en los dedos y por consiguiente mayores puntos de contacto (figura 50) ya que se colocarán los cinco dedos de la mano, siendo más cómodo para el usuario debido a que anteriormente provocaba laceraciones en las manos al manejarlo.

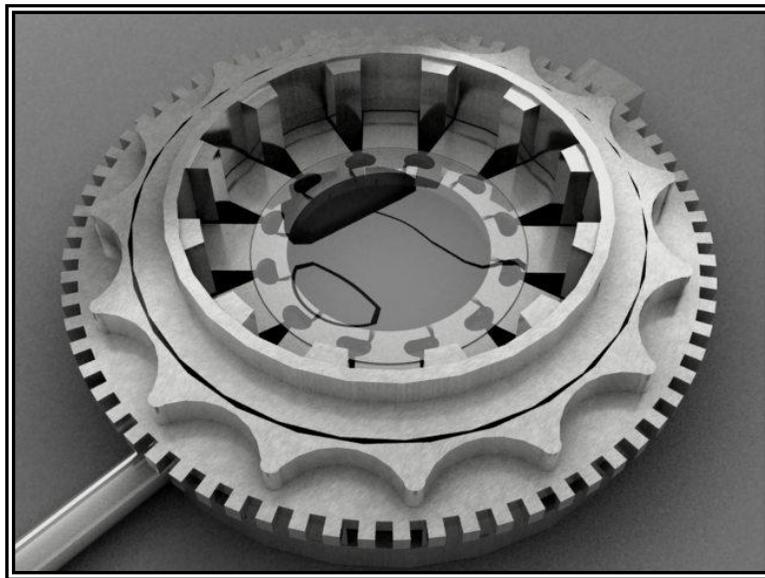


Figura 50. Modelo del sistema de movimiento del engrane.

4.7. Sistema de fijación y medición en el engrane

El sistema de fijación del engrane constituye una parte importante en la montura mecánica, debido a que permite la medición de la elongación en la lente a través del conteo de los dientes del engrane, obteniendo así un control más preciso.

Consiste en que al hacer girar el engrane (en contra a las manecillas del reloj) para tensar la lente, se active automáticamente una cuña o ancla que deje pasar cada uno de los dientes del engrane, esto mediante un perno que le brinda movilidad. Figura 51.

Al dejar de aplicarle fuerza al engrane, éste tenderá a regresar a su estado original quedando fija la cuña en los dientes del engrane e impidiendo el movimiento a su posición original.

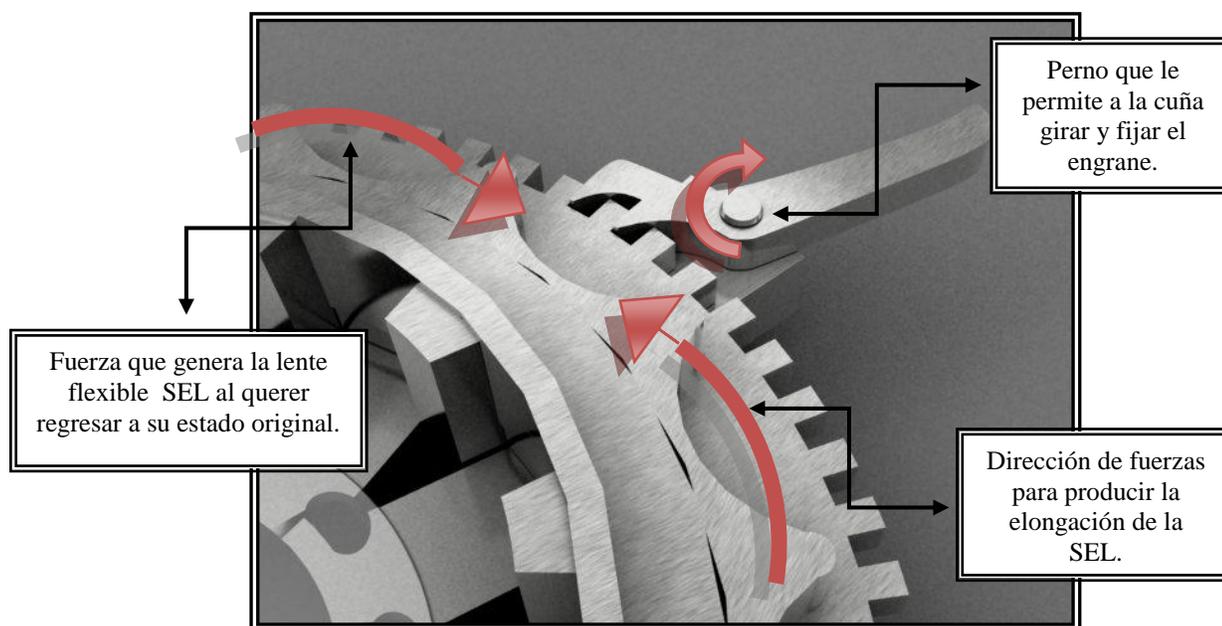
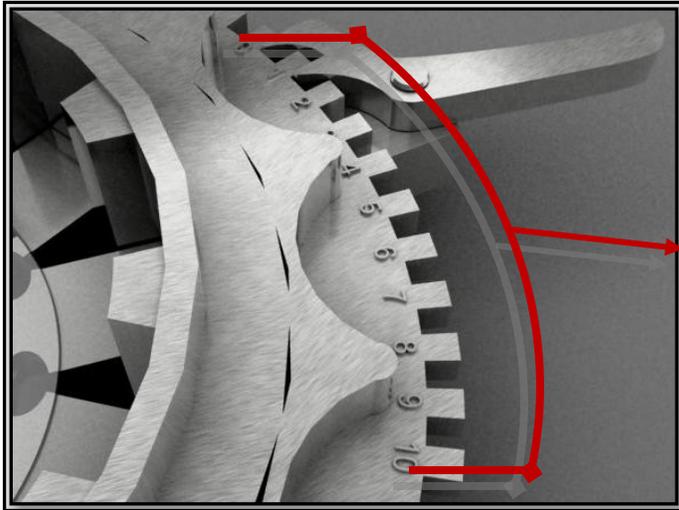


Figura 51. Mecanismo de fijación del engrane.

Se pretende que el engrane cuente con un sistema numérico con el que se pueda medir la elongación de la SEL mediante el conteo de los dientes recorridos, tomando como referencia el perno. Para el grabado de los números se puede utilizar algún tipo de ácido. En la figura 52 se muestra un acercamiento de la numeración en los dientes del engrane.



Enumeración de los dientes del engrane desde su estado en reposo hasta el nivel máximo de elongación (30 dientes).

Figura 52. Sistema de medición de la elongación de la SEL.

En la figura 53 se muestra como han sido incorporados el mecanismo de movimiento del engrane y el sistema de medición de la elongación de la SEL a las demás piezas que ya habían sido perfeccionadas y que forman parte de la montura.

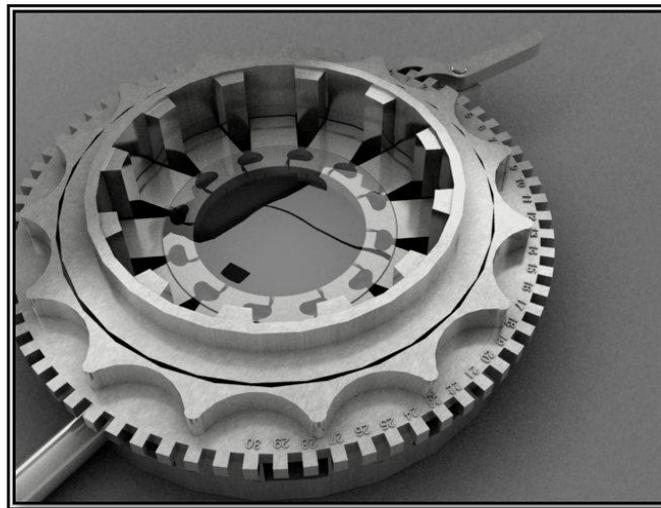


Figura 53. Incorporación del mecanismo de movimiento del engrane y sistema de medición de la elongación de la SEL.

El modelo final de la montura en su integración total se presenta en la figura 54, se anexa al final de este documento los respectivos planos constructivos.

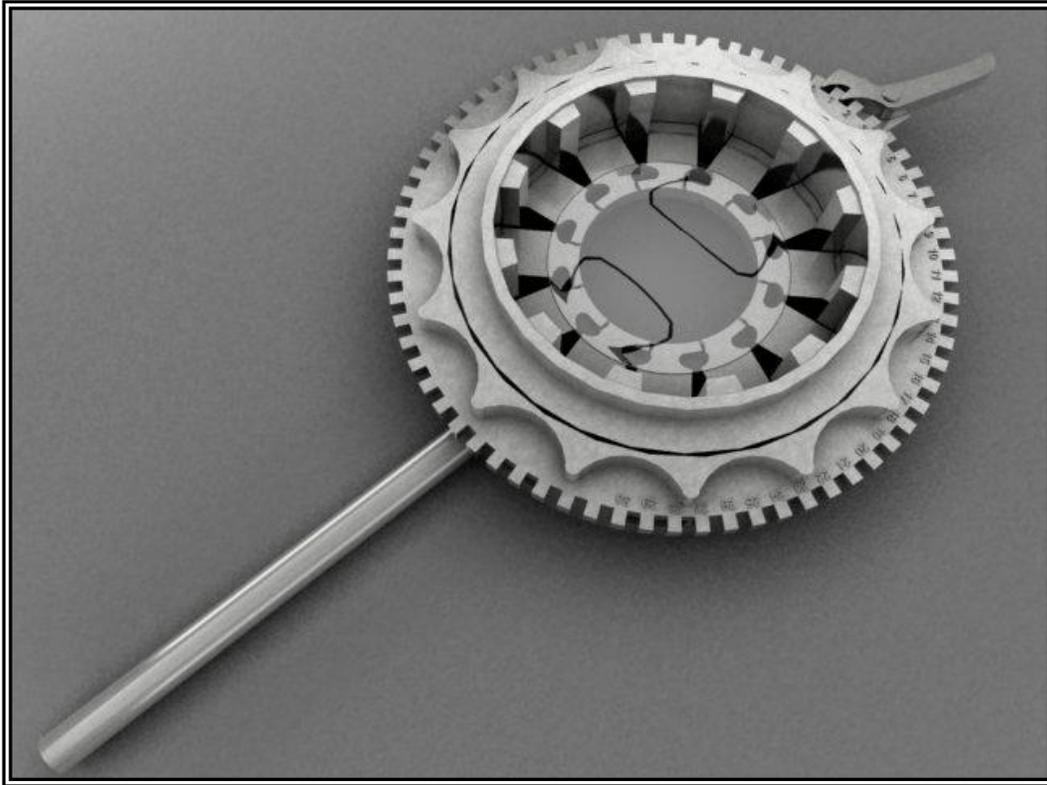


Figura 54. Modelo final de la montura.

CAPITULO 5

Análisis de elementos Finitos

CAPITULO 5. Análisis de Elementos Finitos

La técnica de análisis por elementos finitos (FEA) consiste en el empleo de los métodos numéricos en la resolución de un problema físico determinado. Este método numérico se basa en dividir la geometría de lo que se quiere analizar en pequeños elementos, en los cuales se resuelven las ecuaciones diferenciales correspondientes a un campo en forma discreta, teniendo en cuenta las propiedades físicas de los materiales empleados, los elementos del entorno de vecindad, las condiciones de contorno y las fuentes generadoras de campo. La resolución de estas ecuaciones de forma discreta se realiza de forma iterativa hasta que se alcanza convergencia en la solución¹³, figura 55. Se pueden resolver varios problemas físicos como son: mecánica de fluidos, transmisión del calor, electromagnetismo, mecánica estructural, etc.

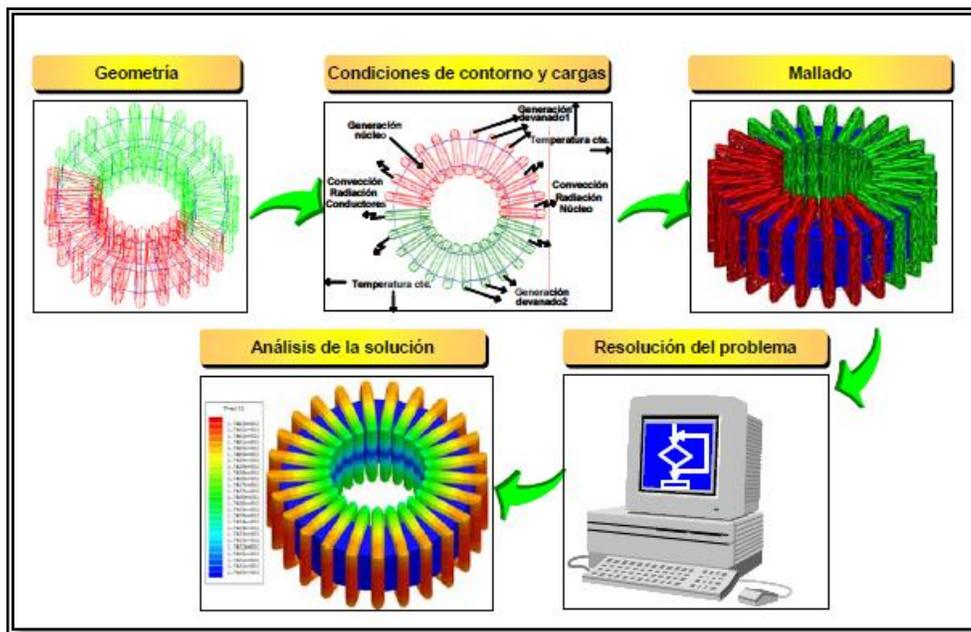


Figura 55. Secuencia del Análisis por Elementos Finitos.

¹³ Escribano, R. M. Finite Element Analysis: a very recent methodology in economics. Departamento de Economía Financiera y Contabilidad I. (Escuela Universitaria de Estudios Empresariales.) Universidad Complutense de Madrid.

En este capítulo se realiza un análisis mecánico de las piezas que conforman la montura mecánica del modelo final como son MO-09, MO-10, MO11, MO-12. Para los demás componentes del sistema de la montura no fue necesario hacer análisis ya que estos se encargan únicamente de contener las demás piezas.

El proceso de generación de la solución mediante FEA se realizó siguiendo algunos pasos que a continuación se describen (figura 56) y se desarrollan para el análisis de la montura mecánica y algunos de sus componentes.

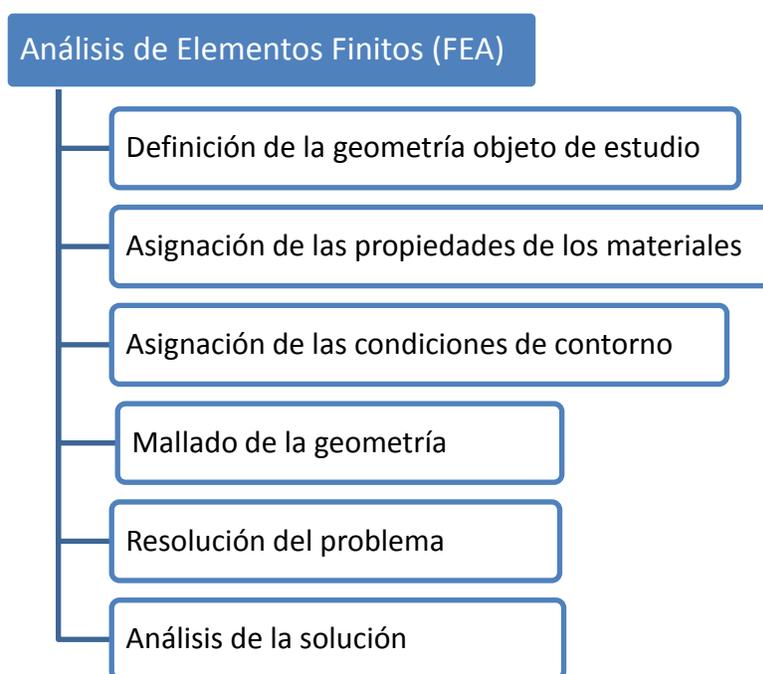


Figura 56. Pasos para el Análisis de Elementos Finitos (FEA).

Se emplea la técnica de simulación por computadora denominada CAE (*Computer Aided Engineering*). El software utilizado fue Solidworks® para el análisis de diseño mecánico y la aplicación del complemento Solidworks Simulation® para el análisis de elementos finitos.

Mediante este análisis se podrá evaluar el funcionamiento de las piezas y obtener resultados que ayuden a corregir imperfecciones y/o posibles errores antes de su manufactura.

5.2.1. Definición de la geometría objeto de estudio

Esta etapa consiste en la obtención de un dibujo en 2D o 3D, en malla de alambre, de las formas de los diferentes objetos en los que se pretenden resolver las ecuaciones de campo. En la figura 57 se pueden observar las piezas que serán sometidas al análisis para comprobar su funcionamiento.

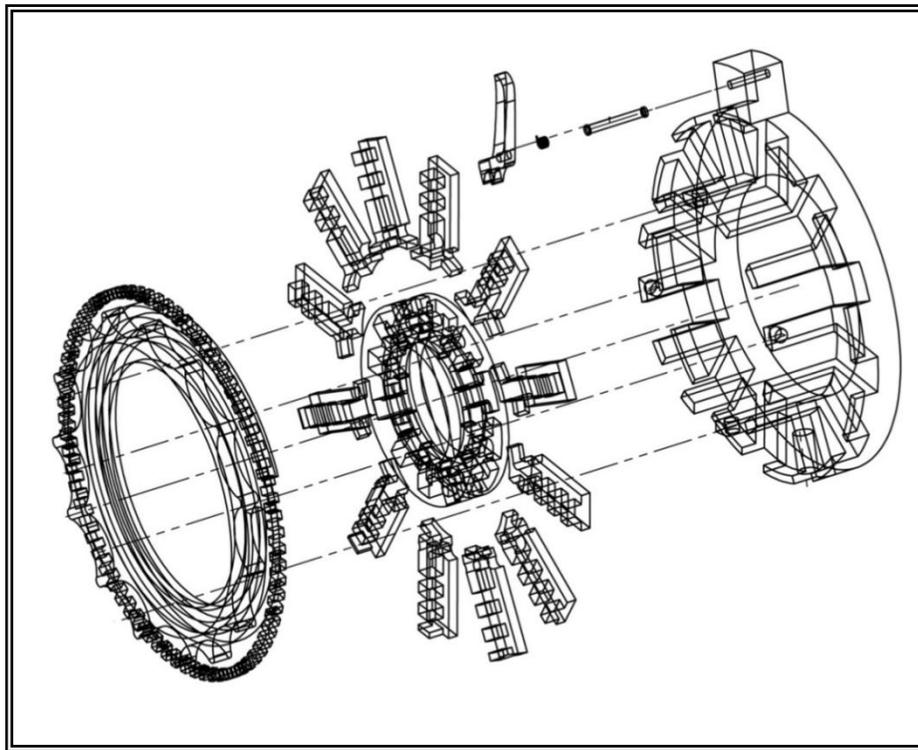


Figura 57. Piezas que serán sometidas al análisis.

5.2.2. Asignación de las propiedades físicas de los materiales

Se continúa utilizando el aluminio para las piezas maquinadas y el Polidimetil Siloxano Sylgar 184 (PDMS Sylgar 184) para la lente flexible, las propiedades de estos materiales (apéndice B) fueron introducidos en los parámetros del programa. La aplicación reúne una base de datos con los materiales más utilizados, en el caso del PDMS Sylgar 184 que no se encontraba dentro de esta base, se utilizó el editor para introducirlo manualmente.

Los datos necesarios para el PDMS Sylgar 184 fueron: módulo de elasticidad en x, coeficiente de Poisson en xy, módulo cortante en xy, densidad de masa, límite de tracción en x, límite elástico, coeficiente de expansión térmica en x y conductividad térmica en x. Figura 58.

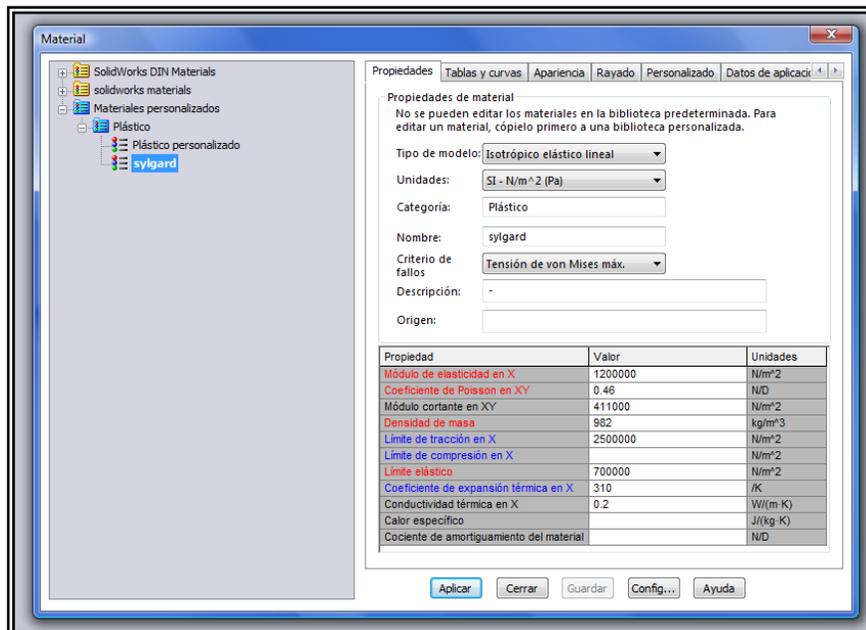


Figura 58. Propiedades del PDMS Sylgar 184.

5.2.3. Asignación de las condiciones de contorno

El software necesita algunos parámetros o condiciones de contorno para poder determinar las posibles soluciones del estudio, tales como el tipo de sujeción de la pieza y las cargas externas. A continuación se explica la asignación de las condiciones de contorno en cada una de las piezas a las que se le aplicará el análisis.

5.2.3.1. Lente Elástica

Para determinar las condiciones de carga se tomó en cuenta la dirección de la fuerza que ejercen las mordazas sobre la lente al aplicar las fuerzas radiales. En la figura 59 se observa en color púrpura la fuerza distribuida por toda la lente elástica a través de las mordazas, en dirección ascendente.

Para determinar la zona de restricción fue necesario realizar un orificio en el eje óptico de la lente para dar soporte, mostrado en color verde. Al aplicar la fuerza no existe deformación alguna en esa zona y por consiguiente no altera los resultados del análisis.

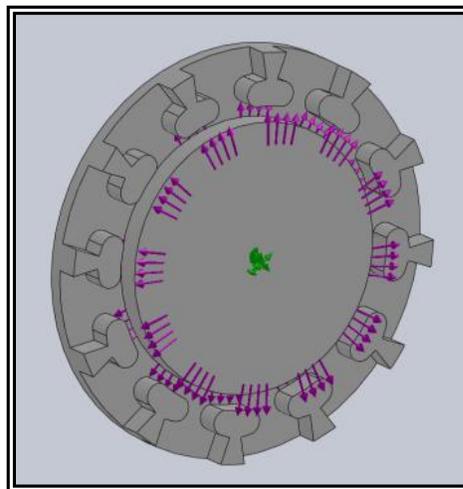


Figura 59. Condiciones de contorno para la lente elástica.

5.2.3.2. Base para seguro

En este caso fue necesario restringir la zona donde existe contacto entre el perno y el seguro, mostrado en la figura 60, color verde, ya que es la parte que soportará la fuerza aplicada al seguro, mostrada en color púrpura.

Para asignar las condiciones de contorno al seguro de forma independiente (figura 61) se tomó como restricción el orificio que ocupa el perno, mostrado de color verde y se aplicó la fuerza en los extremos, mostrado en color púrpura, que es donde tiene contacto con el engrane. De esta manera se puede determinar si el material es capaz de soportar las fuerzas generadas.

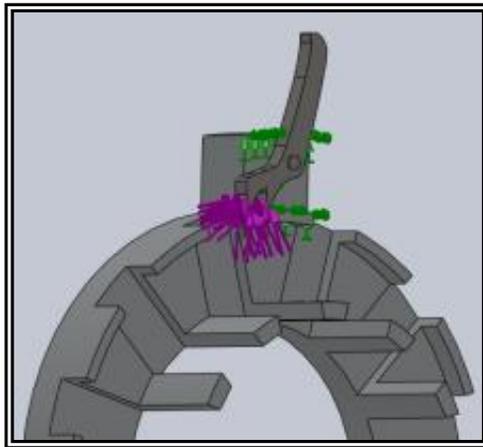


Figura 60. Condiciones de contorno entre el perno y el seguro.

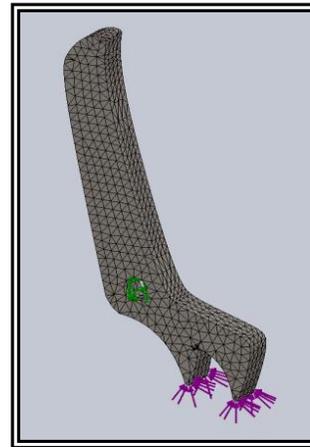


Figura 61. Condiciones de contorno para el seguro.

5.2.3.3. Mordazas

Las restricciones de las mordazas mostradas en la figura 62, color verde, fueron colocadas en la parte interior y laterales, ya que son las que tienen contacto directo con la base y generan la mayor cantidad de fricción causada por la lente al estirarse. La fuerza es aplicada a una cara de la mordaza, mostrada en color púrpura, que es la que tiene contacto directo con el espiral; así se puede saber cuál es la fuerza máxima que soporta o detectar puntos donde puede sufrir alguna ruptura, deformación o algún otro problema.

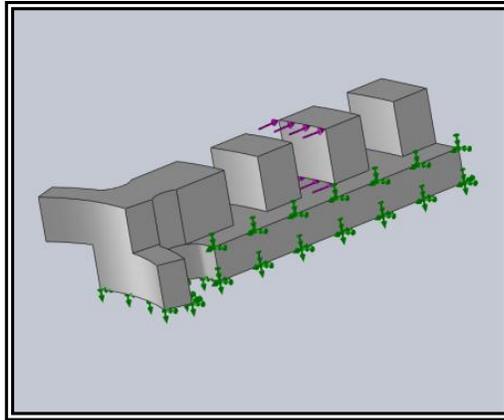


Figura 62. Condiciones de contorno para las mordazas.

5.2.3.4. Engrane (rosca y soporte)

El engrane contiene dos lados en los que se ubicaron las restricciones, la primera restricción mostrada en la figura 63, color verde, fue colocada en la parte de la rosca sin fin para poder aplicar la fuerza en los dientes de los engranes. La fuerza es distribuida en dos dientes del engrane, mostrado en color púrpura, ya que la fuerza que genera el seguro lo distribuye en las mismas, por lo que se puede determinar si son capaces de soportar las cargas.

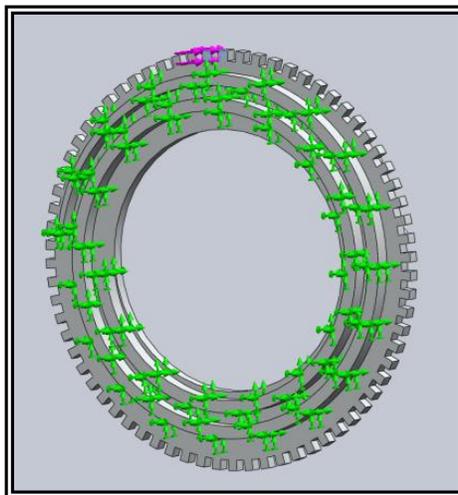


Figura 63. Condiciones de contorno para la parte interior del engrane.

Para la parte exterior del engrane, las restricciones fueron colocadas en todos los dientes, como se aprecia en la figura 64, color verde, dejando libre los apoyos para los dedos, ya que es ahí donde se aplican las fuerzas mostradas en color púrpura y que actúan al tratar de girar el engrane.

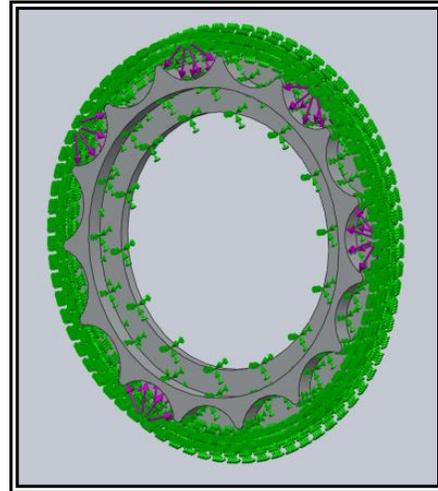


Figura 64. Condiciones de contorno para la parte exterior del engrane.

5.2.4. Mallado de la geometría

La geometría que es objeto de estudio se divide en diferentes elementos en los que se resuelven las ecuaciones. Las mallas pueden estar formadas por tres tipos de elementos: vigas, triángulos y tetraedros. Estos elementos resultan en diferentes tipos de mallas, las cuales se presentan en la figura 65.

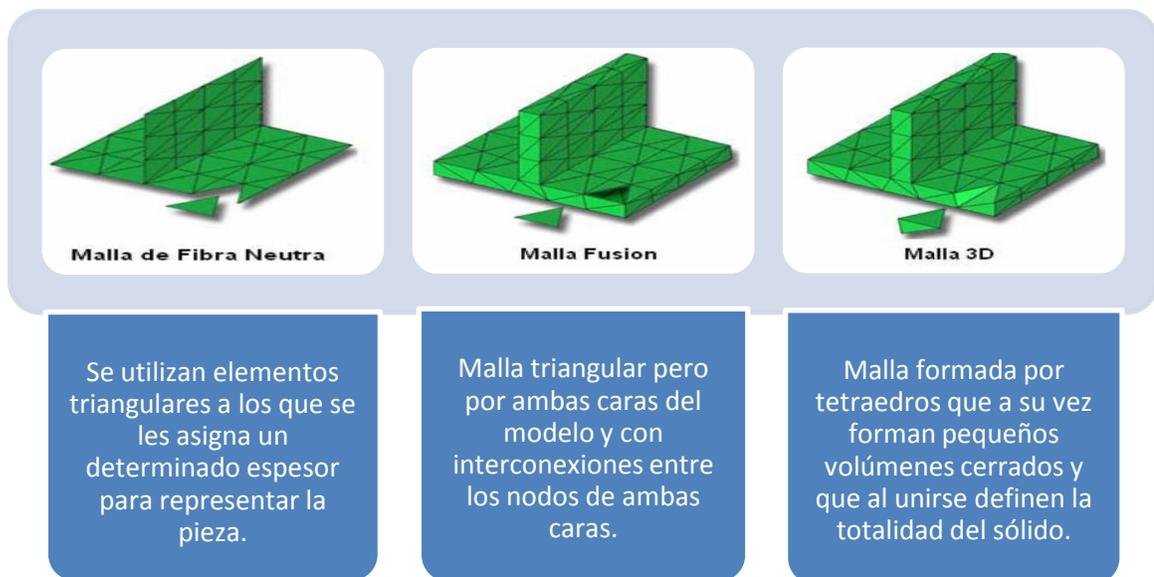


Figura 65. Diferentes tipos de mallas.

Para realizar el mallado en las piezas de la montura mecánica se ejecutó la herramienta de creación automática de mallas (figura 66), en el caso de la lente y el seguro se empleó una malla más fina que en las demás piezas, debido a que se requerían resultados más precisos en áreas específicas.

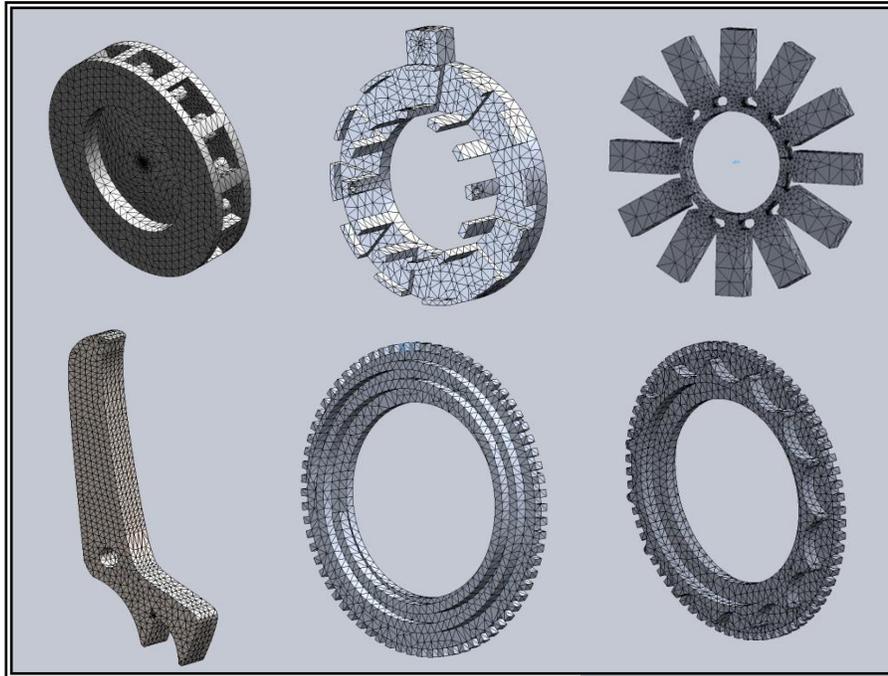


Figura 66. Mallado de las piezas.

5.2.5. Resolución del problema

En esta fase del proceso se aplica el método de análisis por elementos finitos para obtener la solución del problema físico de forma iterativa, en este caso el análisis estructural. La solución se obtuvo en las piezas de la montura mecánica manejadas en los pasos anteriores (figura 67), en las demás piezas no fue necesario analizarlas debido a la función que desempeñan.

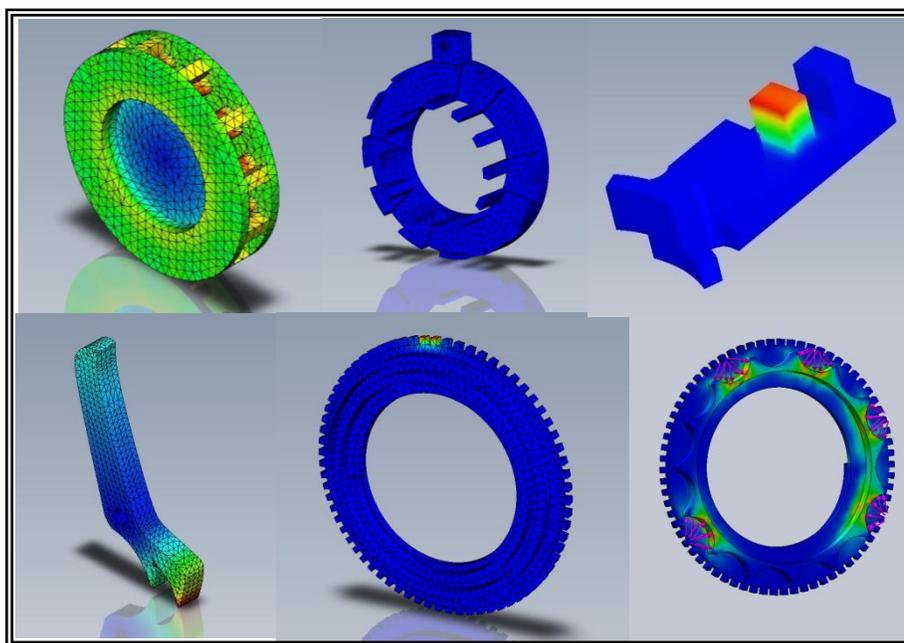


Figura 67. Piezas que fueron sometidas al análisis.

5.2.6. Análisis de la solución

Una vez obtenida la solución, es posible representar gráficamente la distribución que se trate. En la figura 68 se muestran las fuerzas que actúan en la lente al aplicar fuerza con las mordazas para deformarla. Se determinaron las tensiones y desplazamientos producidos para saber cómo se comporta la lente con el diseño de la mordaza propuesta. Se aplicó una fuerza de 10N por cada mordaza, estirándola en sentidos opuestos para poder calcular la carga máxima que soporta la lente.

Se obtuvo una tensión máxima en las mordazas de 4.11 MN/m^2 y un desplazamiento máximo de 2.4521 mm en dirección de la fuerza.

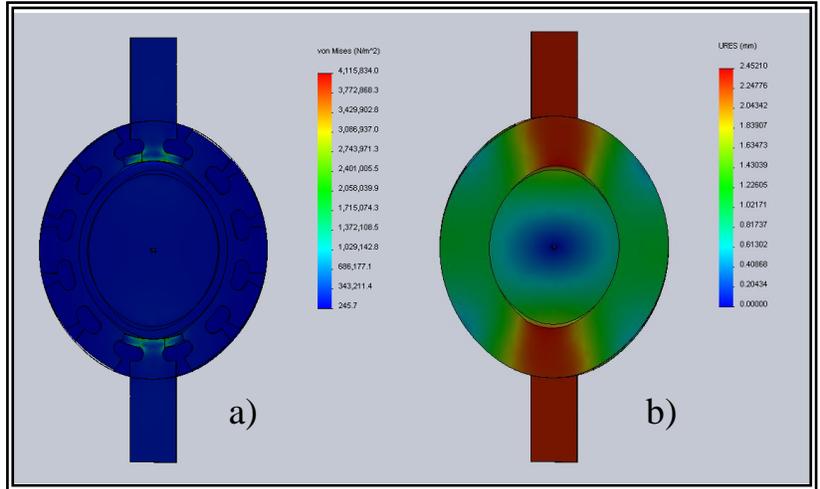


Figura 68. a) Tensiones ejercidas por las mordazas en la lente y **b)** Desplazamientos generados por la fuerza ejercida.

La lente arrojó un factor de seguridad de 2.3 como se muestra en la figura 69, soportando una carga máxima de 23 N por cada una de las mordazas. Con este cálculo se puede aplicar la fuerza máxima que soporta la lente y determinar las tensiones y desplazamientos que sufren los elementos que interactúan con la montura mecánica.

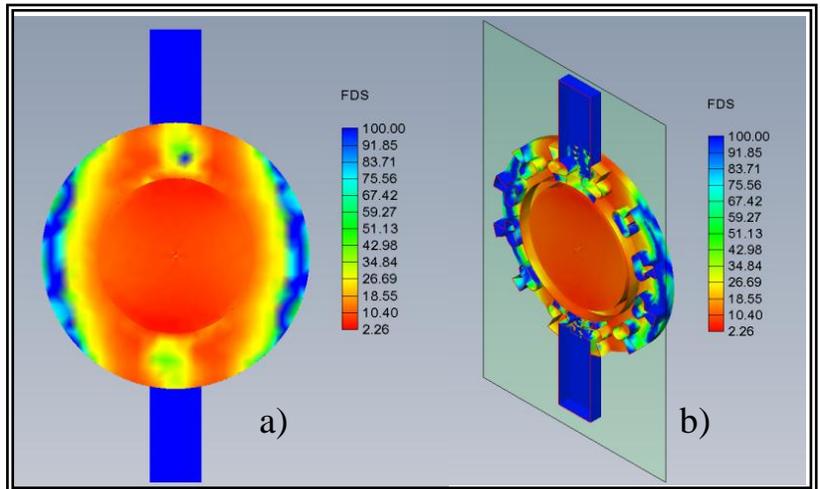


Figura 69. Factor de seguridad de 2.3 generado por la lente, **a)** Vista frontal y **b)** Corte de la lente.

El análisis de la lente aportó la carga máxima que soporta, por lo que el siguiente estudio se enfocó en la parte que está en contacto directo con la misma en la parte de la mordaza. La fuerza aplicada es la obtenida del límite de ruptura del bloque del elastómero: 23 N, y se aplicó en las caras en contacto con la lente (figura 70).

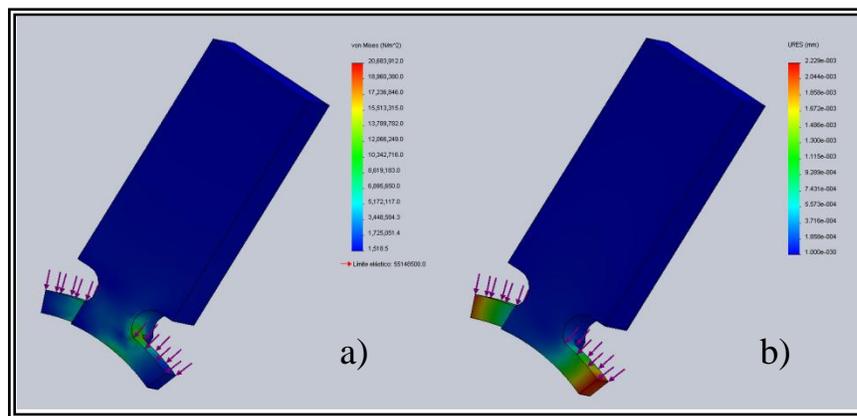


Figura 70. Fuerzas que actúan en las mordazas al aplicar fuerza, **a)** Tensiones generadas y **b)** desplazamientos producidos

Las tensiones máximas generadas por la lente en la mordaza fueron de 20.68 MN/m^2 y un desplazamiento máximo de 0.0022293 mm . Estos desplazamientos son imperceptibles y no generan problemas en la estructura de la mordaza.

El resultado de los desplazamientos y deformaciones generaron un factor de seguridad de 2.7 como se muestra en la figura 71, lo que significa que la fuerza aplicada es casi 1/3 de la carga máxima que soportan los ganchos de las mordazas. Las tensiones máximas generadas por la fuerza aplicada en la mordaza fueron de 6.77 MN/m^2 y un desplazamiento de 0.000729278 mm lo cual es imperceptible.

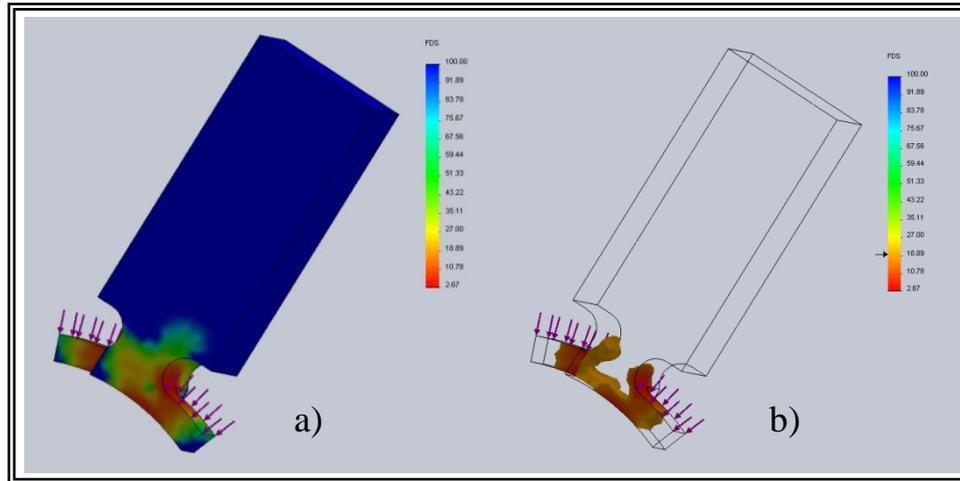


Figura 71. a) Factor de seguridad total y b) Volumen del Factor de seguridad.

5.2.6.1. Análisis de la mordaza en contacto con el espiral

El siguiente análisis se enfocó en la parte donde existe contacto con el espiral, que es la que transmite la resistencia de la lente hacia la misma. La fuerza aplicada fue la misma que se ha estado empleando, obtenida del límite de ruptura del bloque del elastómero: 23 N, y se aplicó a una de las caras en contacto con la espiral (figura 72).

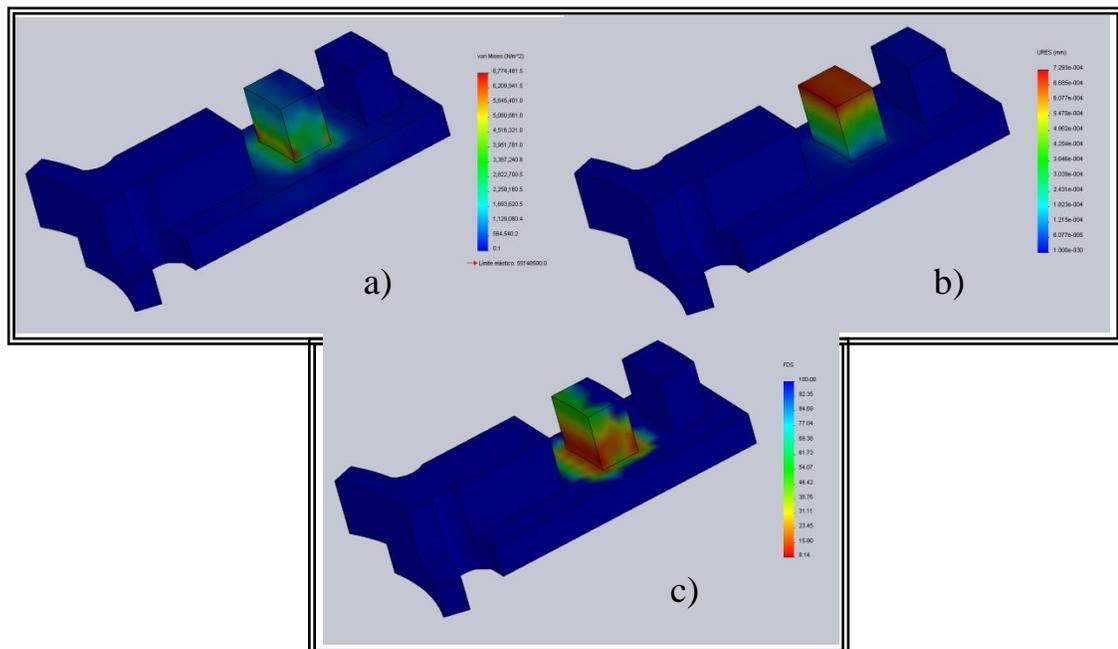


Figura 72. Análisis de la mordaza mostrando a) Tensiones producidas, b) Desplazamientos generados y c) FDS.

5.2.6.2. Análisis del engrane

En el caso del engrane se tomó la carga máxima que soporta la lente flexible para determinar la fuerza que actúa en el seguro implementado en el sistema, lo cual fue de 23N por cada mordaza, sabiendo que el total de las mordazas es de 12, la carga máxima que soporta el sistema completo (SELMontura mecánica) es de 276 N (28139.67 g).

Dicha carga se distribuye en 2 dientes del engrane, ya que son el número de elementos que conforman el seguro, esto para poder determinar las tensiones y desplazamientos que se produce sobre el mismo, figura 73.

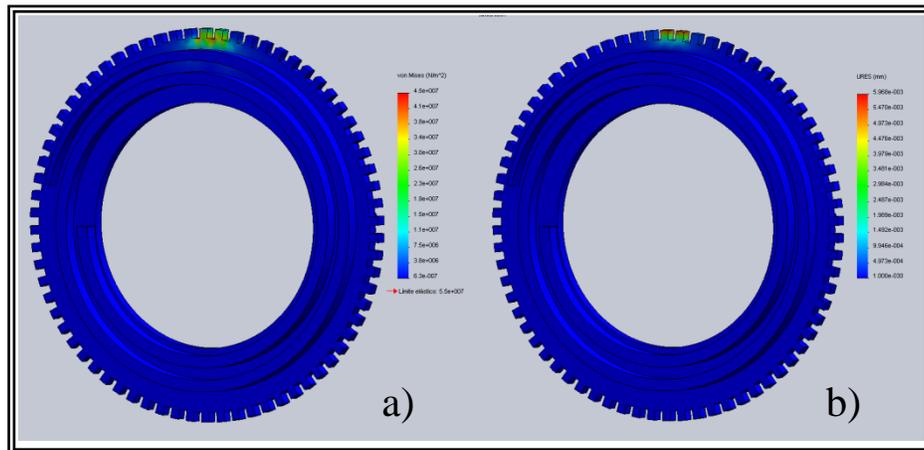


Figura 73. a) Tensiones generadas en los dientes del engrane y b) Desplazamientos producidos por el contacto del seguro con el engrane.

En la figura 74 se observa el factor de seguridad generado por el engrane, que es de 1.4 aplicando una fuerza de 138 N en cada diente. Esto significa que el engrane soporta 193.2 N por cada diente, dando como resultado 386.4 N en su totalidad y sabiendo que el límite de ruptura de la lente es de 276 N. Con estos resultados podemos deducir que el engrane es capaz de soportar las fuerzas generadas por la lente.

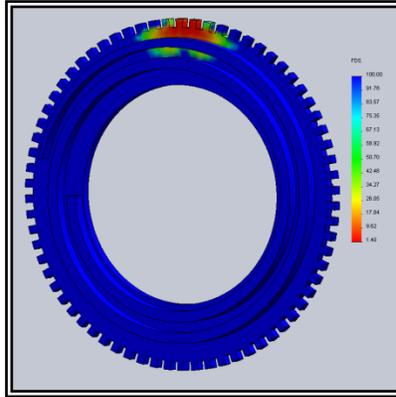


Figura 74. Factor de seguridad del engrane producido por la fuerza del seguro.

En la parte posterior del engrane roscado se encuentra la estrella que es la que se encarga de brindar soporte en los dedos para poder girar el engrane. Se analizaron cinco puntos en los que se colocan los dedos, aplicando una carga aproximada de 10 N por cada uno de los apoyos.

Se generaron tensiones de 418.18 KN/m^2 y desplazamientos de $6.51647 \times 10^{-5} \text{ mm}$ en cada punto, generando un factor de seguridad de 130, como se muestra en la figura 75. Con esto no existe ningún problema al aplicar gran cantidad de fuerza sobre los puntos de contacto ya que puede soportar 1.3 KN por cada uno.

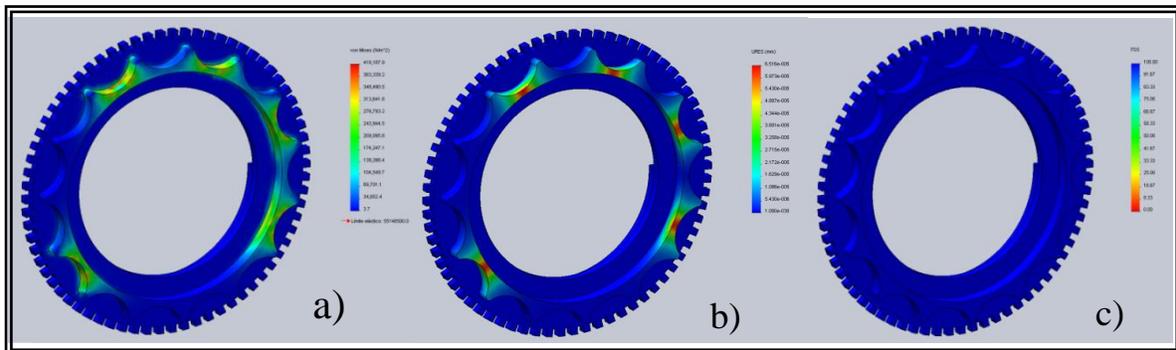


Figura 75. a) Tensiones, b) desplazamientos y c) FDS de los puntos de contacto.

5.2.6.3. Análisis de la base

El siguiente componente que se analizó fue la parte en la que se une el seguro y la base, ya que se genera una fuerza cortante al aplicar fuerza por parte de la SEL. Se generó una tensión de 984.6 M N/m^2 y un desplazamiento de 0.589615 mm . Con la fuerza aplicada se generó un factor de seguridad de $.63$ lo que significa que la máxima carga que soporta es de $173.914 (17727.99 \text{ g})$, esto tomando en cuenta que la carga aplicada es la máxima soportada por la SEL en su totalidad que es de 276 N .

En la figura 76 se observan las tensiones máximas sobre el perno, el desplazamiento generado por la fuerza, así como el factor de seguridad.

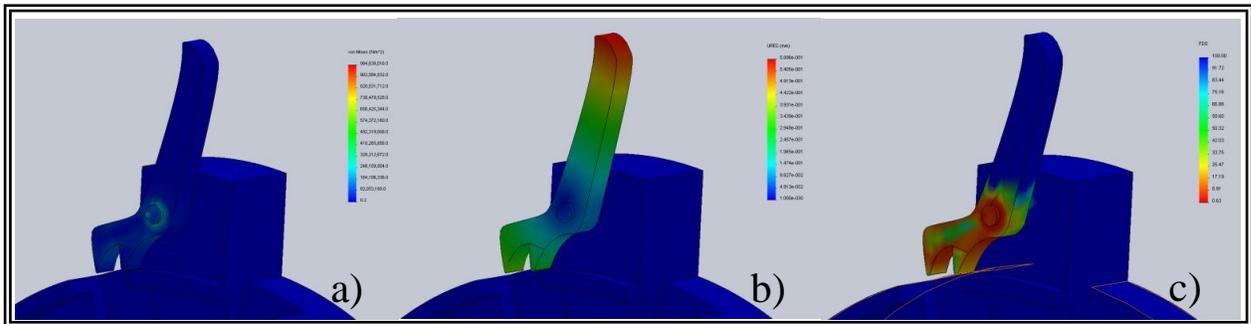


Figura 76. Resultados del contacto de la base, perno y seguro, **a)** tensiones máximas, **b)** desplazamientos y **c)** FDS.

Estos resultados muestran que la base resiste las fuerzas aplicadas de una manera confiable ya que no se percibe desplazamiento o algún tipo de estrés, pero tanto el perno como el seguro sufren de una mayor tensión.

5.2.6.4. Análisis del seguro

Otro sistema implementado en la montura es el seguro, por lo que se analizaron las partes donde existe contacto con los dientes del engrane.

Se hizo un primer análisis con Aluminio ya que es el material que se ha estado ocupando con todas las piezas debido a sus propiedades. Se obtuvo una tensión máxima de 126.1 MN/m^2 lo cual sobrepasa por mucho el límite elástico del material que es de 55.1 MN/m^2 , provocando una posible fractura de la pieza en la zona verde que se aprecia en la figura 77.

Se obtuvieron los desplazamientos generados por la fuerza, siendo de 0.025293 mm en el sentido de la fuerza, lo que se transmite en un factor de seguridad máximo de 0.44 . Esto implica que la fuerza generada por la lente es de tal magnitud que la geometría no la soporta, provocando un mal desempeño. Para solucionar este problema fue necesario sustituir el material por uno más resistente y posteriormente analizarlo para verificar su desempeño.

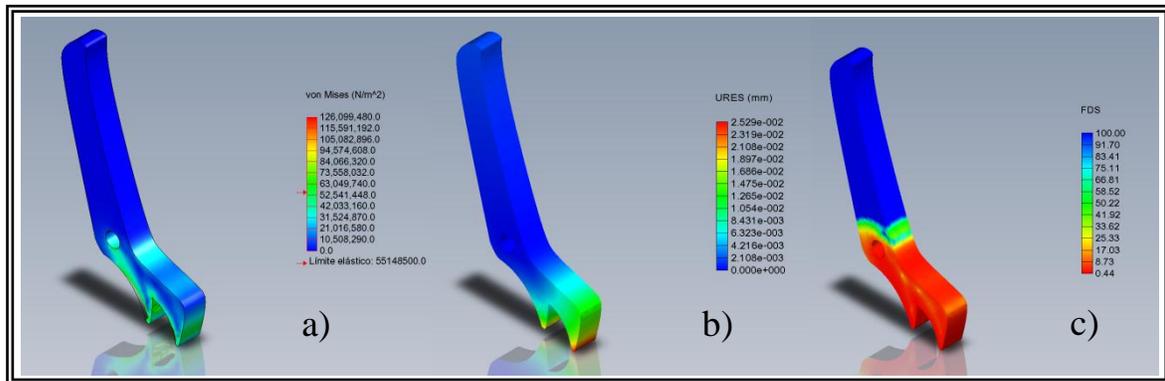


Figura 77. Análisis del seguro en material de Aluminio. a) Tensiones, b) Desplazamientos y c) FDS.

En el segundo análisis se utilizó el Acero DIN (X10Cr13) almacenado en la base de datos de Solid Works, que por su correspondencia comercial en Estados Unidos es el AISI 410¹⁴. Sus propiedades básicas son: elevada dureza y gran facilidad de maquinado, así como resistencia a la corrosión moderada¹⁵, por lo que se considera un material con alta resistencia mecánica.

Al realizar el análisis con este tipo de material se generó una tensión máxima de 124.2 MN/m², un desplazamiento máximo de 0.00918197 mm y un factor de seguridad de 4.2, como se muestra en la figura 78. Esto se traduce en una mejora considerable en la capacidad de resistir las fuerzas generadas por la lente.

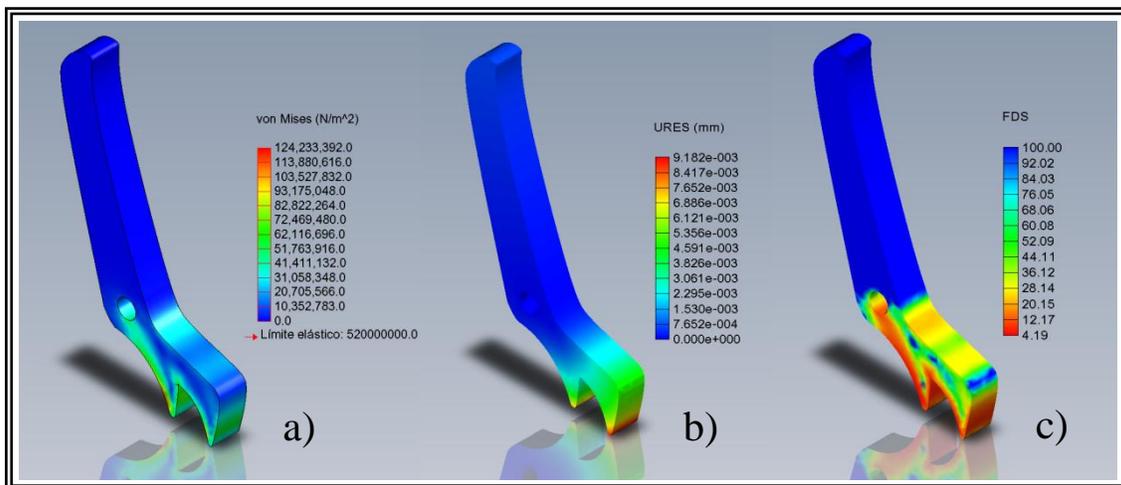


Figura 78. Análisis del seguro en material de Acero inoxidable. a) Tensiones, b) Desplazamientos y c) FDS.

¹⁴ <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/4/55868-4.pdf>

¹⁵ http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm

5.2.6.5. Análisis de la Lente

Este análisis está enfocado principalmente en los esfuerzos producidos por las fuerzas radiales, haciendo una comparativa con los resultados obtenidos en el lente diseñado por Arriaga (2008).

Para poder determinar los resultados de manera similar, se realizó el mismo tipo de análisis con las mismas condiciones y fuerza aplicada; se obtuvieron las tensiones generadas, los desplazamientos y su respectivo factor de seguridad. En la figura 79 se muestra el sentido de la aplicación de fuerzas en cada lente, para posteriormente generar el análisis y la comparativa.

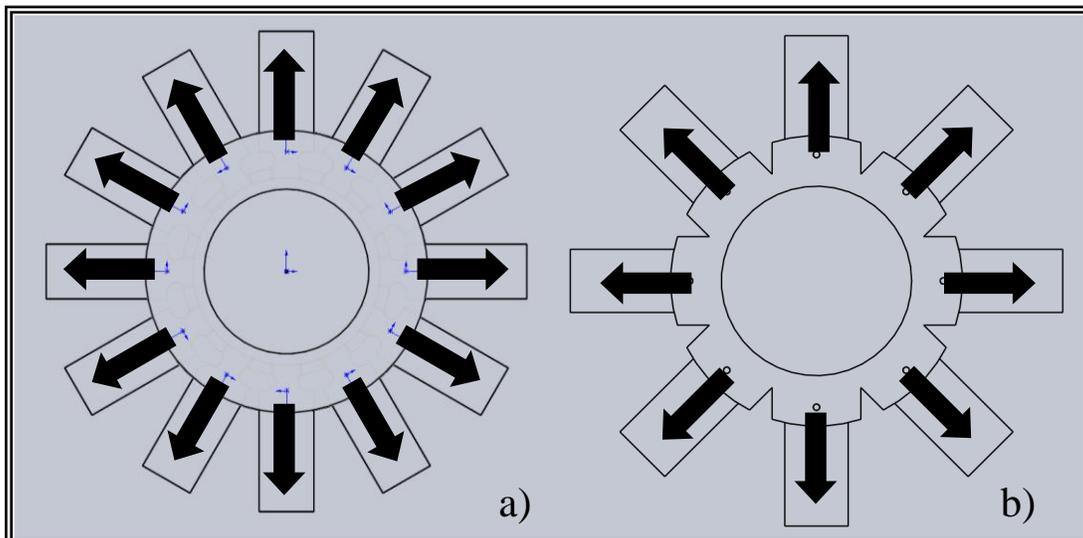


Figura 79. Aplicación de las fuerzas para el análisis de cada lente. a) SEL propuesta y b) SEL diseñada anteriormente.

En la figura 80 se observan las fuerzas y restricciones de la lente anterior y la diseñada en este proyecto, en ambas lentes se aplicó la misma cantidad de fuerza para poder hallar similitudes entre ambas, ya que lo que se pretende es generar los mismos desplazamientos pero con mayor uniformidad radial, así como la reducción de las tensiones hacia la lente producidas por las mordazas, esto a causa del aumento de las mismas y la modificación de la geometría.

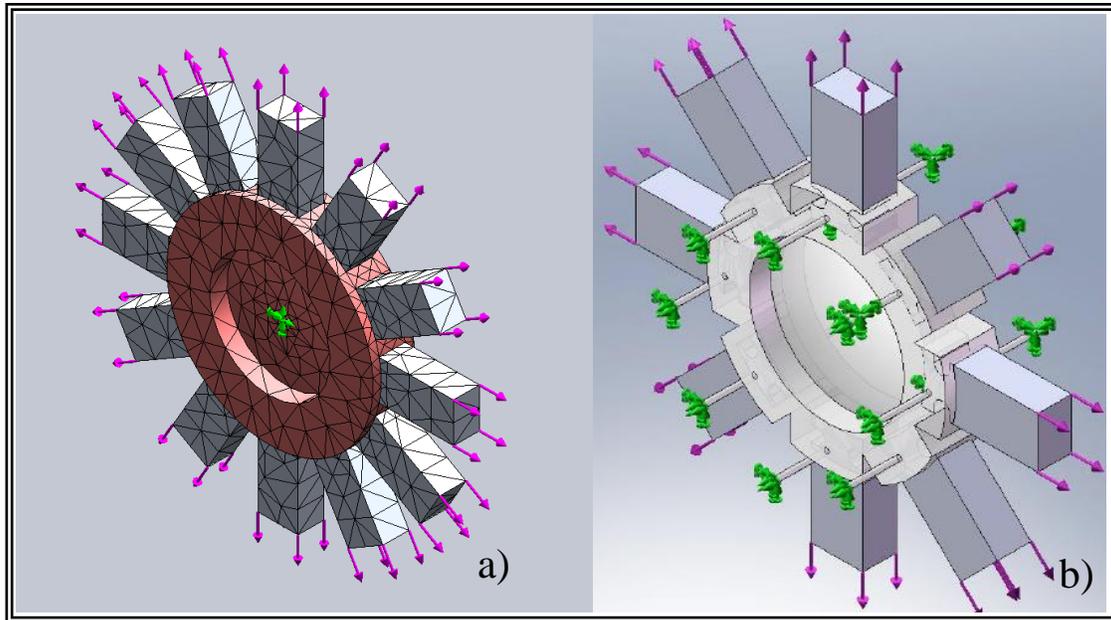


Figura 80. Fuerzas y restricciones aplicadas en **a)** lente propuesta en este proyecto y **b)** lente diseñada anteriormente.

Cabe mencionar que se realizaron dos diferentes análisis en la lente diseñada anteriormente, esto para determinar si existe alguna diferencia en los resultados obtenidos a causa de las restricciones propuestas en dicho proyecto y las del presente proyecto. Esto se debe a que en el proyecto anterior fueron anexados soportes sobre la geometría de la lente que permitieran deformarla lo más cercano a la realidad. La finalidad de estos soportes es que no afectaran los resultados del análisis FEA. El diámetro de dichos soportes es de 1 mm de espesor, como se pudo observar en la figura anterior.

El segundo análisis se realizó tomando como soporte un orificio imperceptible en el centro de la lente, el cual es de 0.5 mm de diámetro, ver figura 81. Esto debido a que en el centro de la lente no existen desplazamientos y se localiza el eje óptico, no afectando en lo más mínimo los resultados.

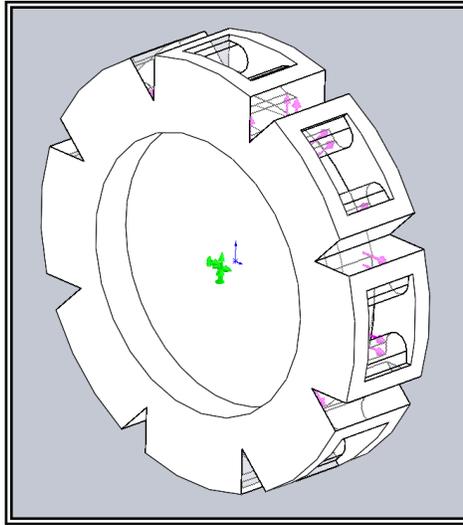


Figura 81. Orificio tomado como soporte (color verde) para comparativa de resultados de la misma lente.

Una vez realizado el análisis con los diferentes soportes, se encontró una diferencia mínima en el desplazamiento de 0.17 mm y una diferencia en la tensión de 5.9 KN/m², siendo mayor la lente con los soportes añadidos.

Con los resultados obtenidos se puede decir que la diferencia entre los resultados del análisis con los soportes es mínima y que es posible realizar la comparativa entre la lente propuesta en este proyecto y la realizada por Arriaga (2008).

Para realizar el análisis en las dos lentes se aplicó una fuerza de 10 N por cada una de las mordazas y se tomó el orificio de la parte del eje óptico de la lente como soporte fijo que tienen respectivamente, ver figura 82.

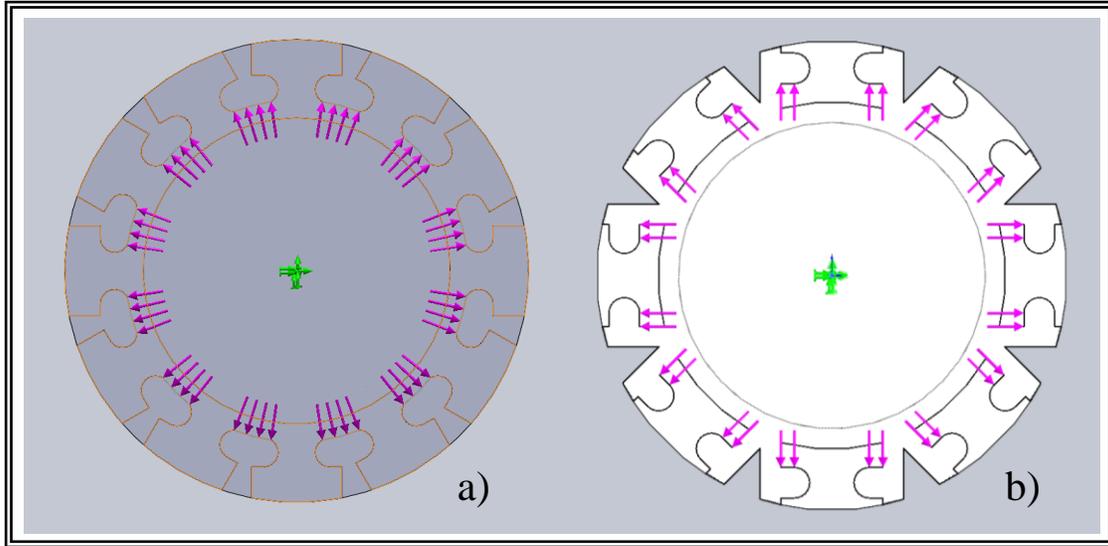


Figura 82. Sistema de fuerzas aplicadas en la lente, **a)** diseño propuesto en este proyecto y **b)** diseño del proyecto anterior.

Una vez determinadas las fuerzas aplicadas y los soportes fijos en cada lente, se realizó el análisis de elementos finitos de cada una, obteniendo así los resultados siguientes:

La lente propuesta en este proyecto la cual cuenta con 12 mordazas generó una tensión máxima de 368.1 KN/m^2 y un desplazamiento de 2.63474 mm en el sentido de la dirección de la fuerza, generando un factor de seguridad de 1.9. Se generaron dos cortes en las lentes para comparar cada uno de los resultados de manera gráfica y comprobar si existe una deformación uniforme en la lente dentro de su estructura interna. El primer corte se realizó lateralmente (figura 83) y que permite observarlo de manera interna en reposo y con la fuerza aplicada respectivamente.

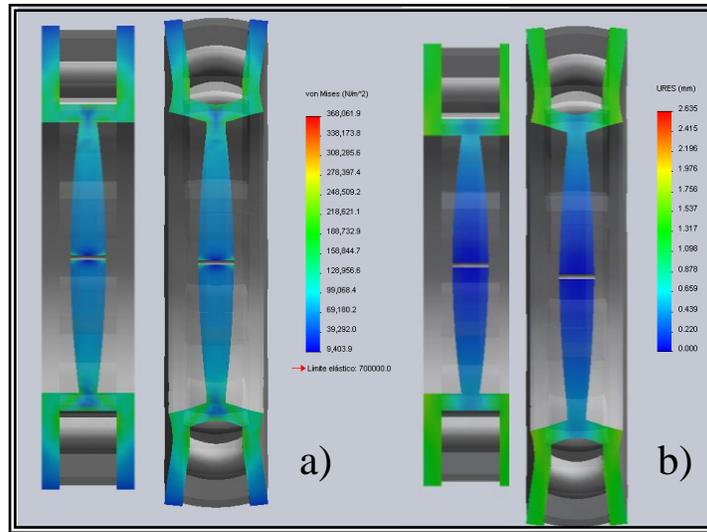


Figura 83. Corte generado en la lente con 12 mordazas para visualizar: **a)** tensiones y **b)** desplazamientos.

La lente con 8 mordazas diseñada anteriormente generó una tensión máxima de 325.2 KN/m^2 y un desplazamiento máximo de 1.87082 mm en el sentido de la fuerza aplicada, generando un factor de seguridad mínimo de 2.2, tal y como se observa en la figura 84 en estado de reposo y con la lente extendida respectivamente.

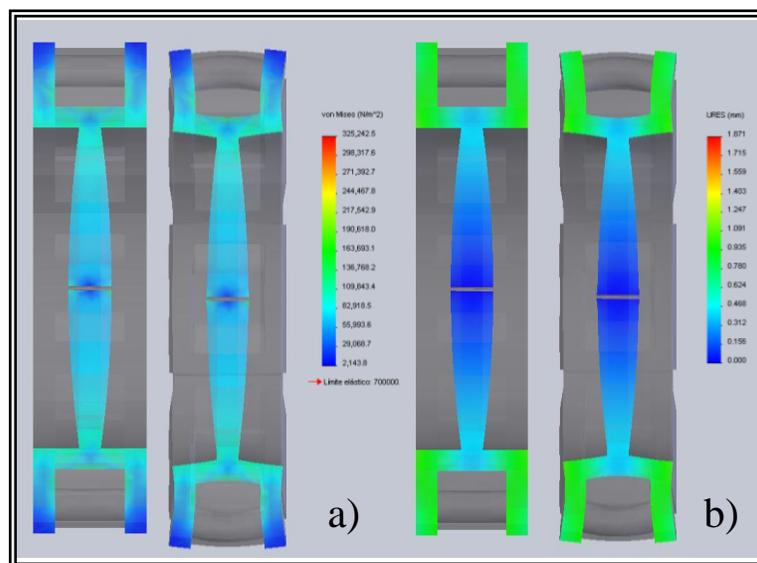


Figura 84. Corte realizado a la lente con 8 mordazas en donde se visualiza: **a)** tensiones generadas y **b)** desplazamientos.

Una comparativa de los resultados de tensión, desplazamientos y factores de seguridad se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Comparativa de los resultados obtenidos por las lentes.

Tipo de Estudio	Lente con 12 mordazas	Lente con 8mordazas	Diferencia
Tensiones generadas	368.1 KN/m ²	325.2 N/m ²	42.8 KN/m ²
Desplazamientos	2.63474 mm	1.87082 mm	0.76392 mm
FDS	1.9	2.2	0.3

Los resultados muestran la diferencia producida entre las lentes, lo cual se determina en el caso de las tensiones en un aumento por parte de la lente diseñada con 12 mordazas de 42.8 KN/m². Esto significa que la lente está sometida a fuerzas más grandes y se debe a que al aumentar el área de contacto por parte de las mordazas disminuye el material elástico sometiéndose a una tensión más grande. Cabe mencionar que la lente está diseñada para soportar 2.3 veces más la fuerza aplicada antes que sufra una posible fractura del material por cada mordaza, soportando un total de 276 N, esto es 44 N más que el diseño con 8 mordazas.

Los desplazamientos de igual manera se perciben en un aumento de 0.764 mm por parte del lente diseñado con 12 mordazas. Como se observó en la tabla las fuerzas producidas en las lentes tienen una variación de fuerza de 3N (305.8 g). De igual manera se generó un segundo corte el segundo en el área donde no existe mordaza para poder visualizar su comportamiento, figura 85.

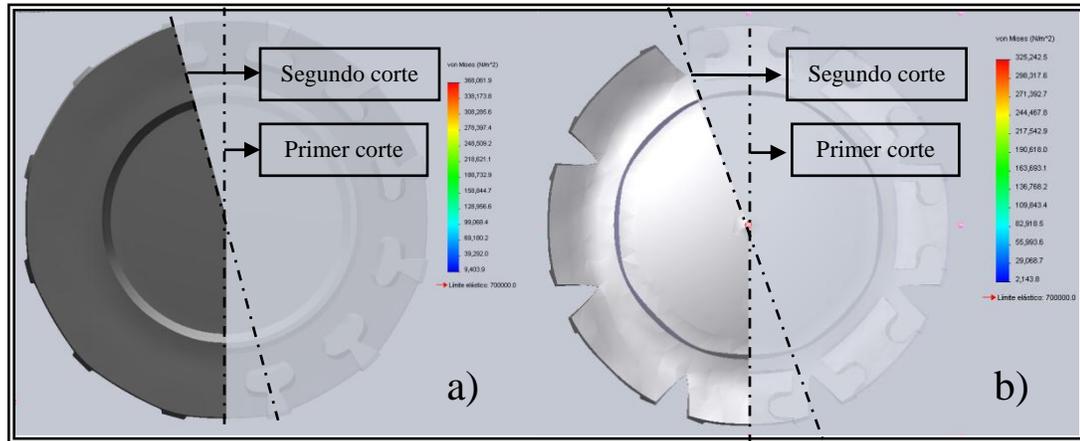


Figura 85. Segundo corte generado en ambas lentes para visualizar el área en la que no existe mordaza. a) Lente propuesta y b) Lente diseñada anteriormente.

Se realizó de esta manera ya que en estudios anteriores solo se hizo un corte lateral asumiendo que la fuerza producida en dicha zona era similar en toda la lente. Como se puede observar en la figura 86, la lente diseñada con 12 mordazas genera tensiones de manera uniforme debido a que la fuerza se distribuye por toda la lente y por consiguiente genera desplazamientos semejantes en la zona que contiene la mordaza así como en la zona que no la contiene.

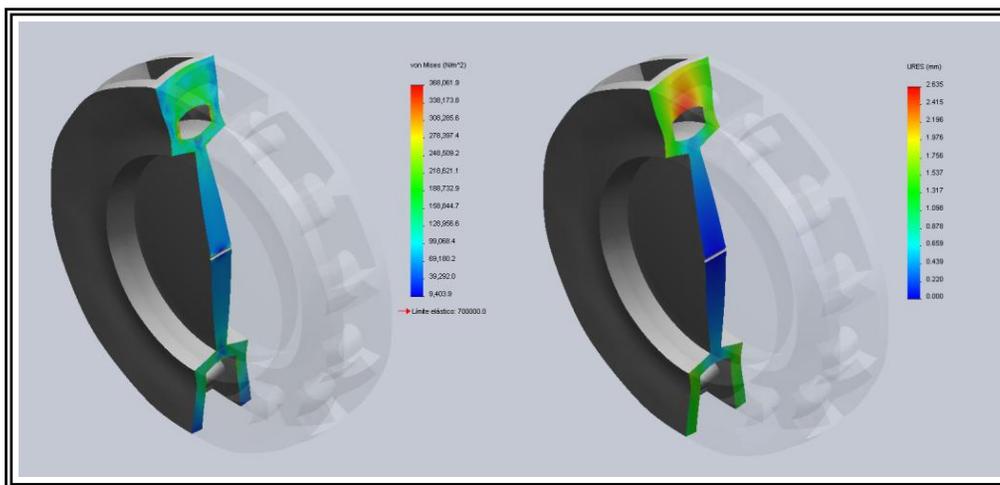


Figura 86. Tensiones y desplazamientos generados en dos diferentes cortes para la lente con 12 mordazas.

El resultado obtenido en la lente de 8 mordazas fue que no se estira de manera uniforme en las diferentes zonas donde se realizó el corte, ya que las fuerzas se vuelven puntuales donde se encuentra la mordaza, generando un desplazamiento mayor que en donde no la hay, originando una mala deformación, como se muestra en la figura 87.

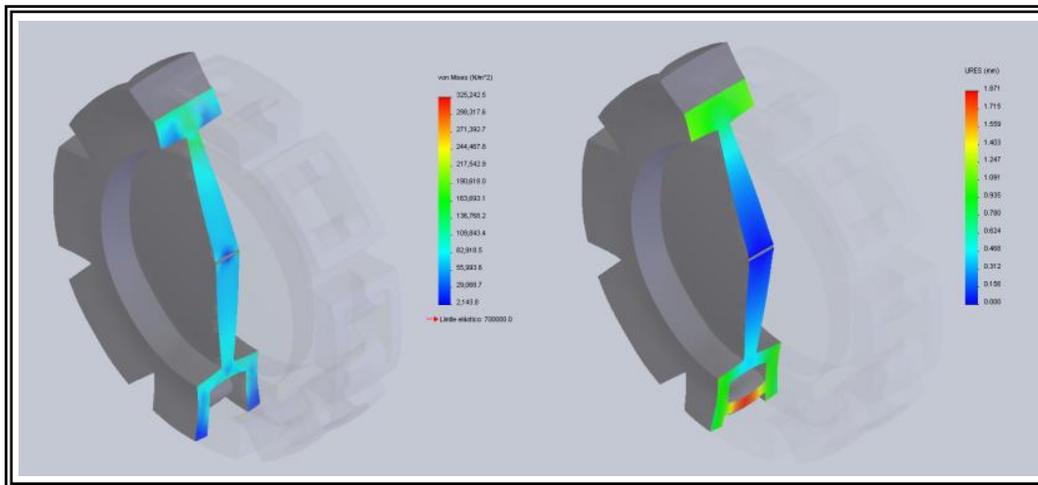


Figura 87. Resultados de las tensiones y desplazamientos ubicados en diferentes cortes de la lente con 8 mordazas.

Se puede concluir en este capítulo que los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos son convincentes ya que se pueden comprobar los resultados de dichos análisis en las pruebas obtenidas en la lente anterior y por consiguiente se puede tener la certeza que los resultados para la montura diseñada en este proyecto cumple con todos los requerimientos.

Una vez que se han realizado los análisis y generado los resultados de las piezas diseñadas, se puede proceder con el siguiente paso planificando el proceso de manufactura de cada una de las piezas, determinando cada uno de los pasos a seguir para su elaboración.

5.3. Análisis de Elementos Finitos para las propuestas 3 y 4

Propuesta 3: Para realizar el análisis a esta propuesta se tomó en cuenta la dirección de la fuerza que ejerce el anillo en la lente. Esta fuerza provoca una deformación en la lente y por consiguiente aumenta la posibilidad de una ruptura como se muestra en la figura 88.

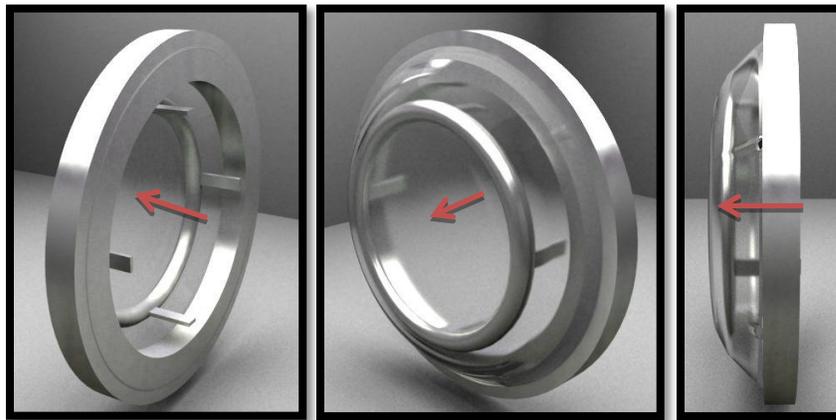


Figura 88. Dirección de la fuerza aplicada en la lente.

En la figura 89 se puede ver que al girar la perilla se genera un movimiento del anillo hacia adelante y por consiguiente se estira la lente y genera la fuerza en el eje óptico.

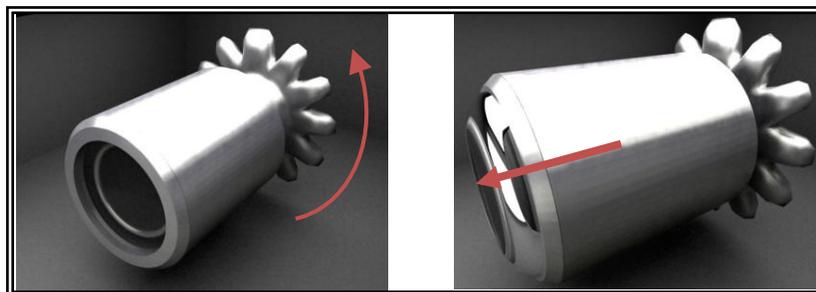


Figura 89. Movimiento de la perilla para generar la fuerza sobre la lente.

Al generar el modelo para analizarlo, se colocaron las restricciones en la periferia de la lente mostrado en color verde en la figura 90, ya que está sujeta por el dispositivo para mantenerla fija, y en color purpura se aplica la fuerza producida por el anillo.

Después se realiza el mallado del lente mostrado en la figura 91 para que posteriormente se obtengan los resultados.

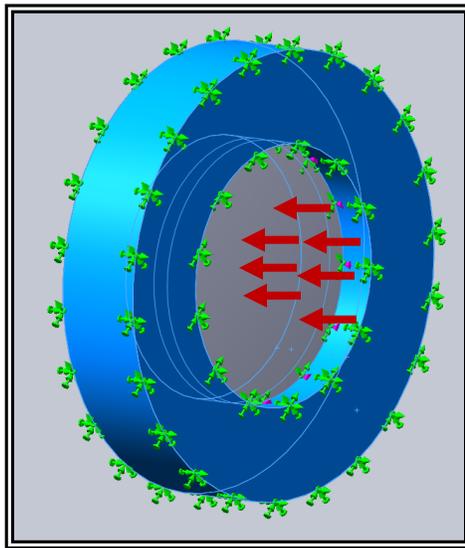


Figura 90. Cargas y restricciones.

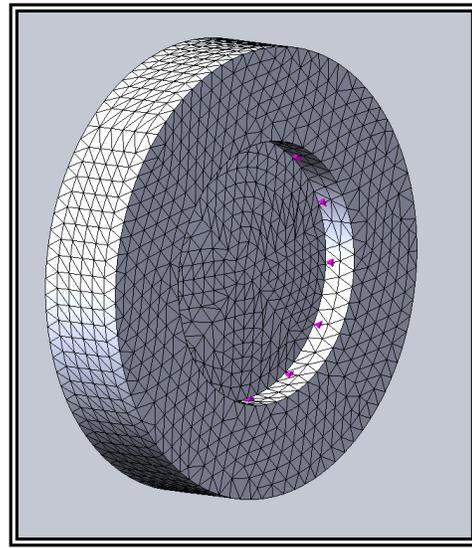


Figura 91. Mallado.

Se aplicó diferentes cantidades de fuerza sobre la cara de la lente en dirección del eje óptico para poder determinar el comportamiento de la misma y con ello poder evaluar los resultados.

En la figura 92 se puede observar la deformación que sufre la lente al aplicar la fuerza que va de 1N, 2N, 4N, 6N, 8N, 10N, respectivamente.

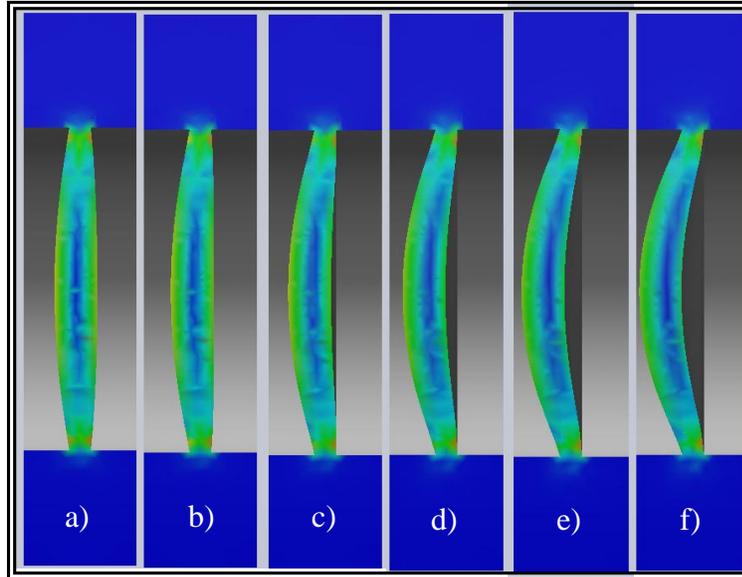


Figura 92. Desplazamiento de la SEL al aplicar fuerza de a) 1, b) 2, c) 4, d) 6, e) 8 y f) 10 N respectivamente.

Aplicando 10 N genera una tensión de 250.1 KN/m^2 , se desplaza 3.136 mm y se obtiene un FS de 2.8 lo que significa que la carga máxima que puede soportar la lente es aproximadamente 28N .

Al aplicarle la fuerza máxima a la lente se genera una tensión de 606.5 KN/m^2 , se desplaza 5.94mm y genera un FS de 1.2.

La dirección de la fuerza es en la dirección del eje óptico de la lente y genera una mayor deformación con menor cantidad de fuerza comparado con la propuesta 4 y por consiguiente un riesgo mayor a romperse en la parte de sujeción por la acción de la fuerza cortante como se muestra en la figura 93.

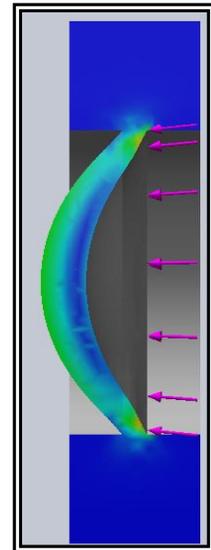


Figura 93. Aplicación de la fuerza máxima al lente.

Propuesta 4

En el caso de la propuesta 4, las fuerzas generadas por las mordazas son perpendiculares al eje óptico, y lo cual genera un desplazamiento radial como se muestra en la figura 94.

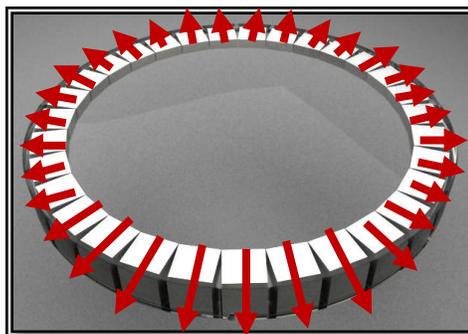


Figura 94. Fuerzas radiales ejercidas por las mordazas.

Una vez modelada la lente, se coloca la restricción en un pequeño orificio creado en el centro del lente tal y como se muestra en la figura 95 (color verde) ya que ahí es donde no se genera ningún desplazamiento y por lo tanto no afecta el resultado. Las fuerzas se colocaron en cada una de las mordazas ubicadas en la lente en dirección de las flechas mostradas (color purpura).

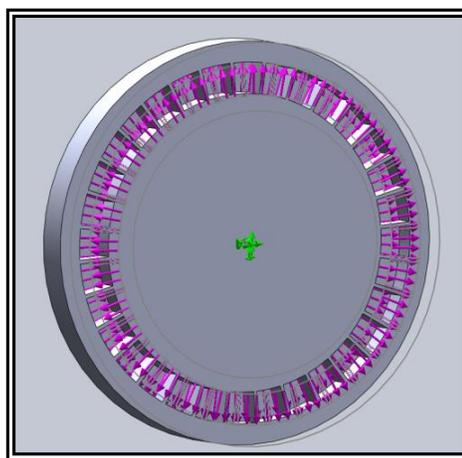


Figura 95. Cargas y restricciones de la propuesta 4.

Se genera el mallado del modelo mostrado en la figura 96 para que posteriormente se evalúen los resultados.

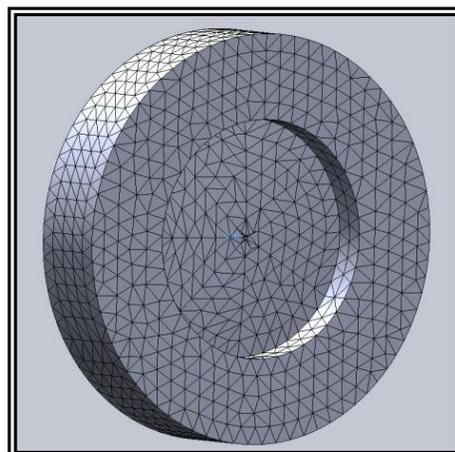


Figura 96. Mallado del lente en la propuesta 4.

Al aplicarle 10 N como carga total se genera una tensión de 68.7 KN/m^2 , se desplaza $.2683\text{mm}$ y genera un FS de 10. Esto significa que al estirarse de forma perpendicular al eje óptico genera menor desplazamiento y por consiguiente una mayor absorción de fuerza al existir más resistencia por parte de los 32 ganchos (figura 97).

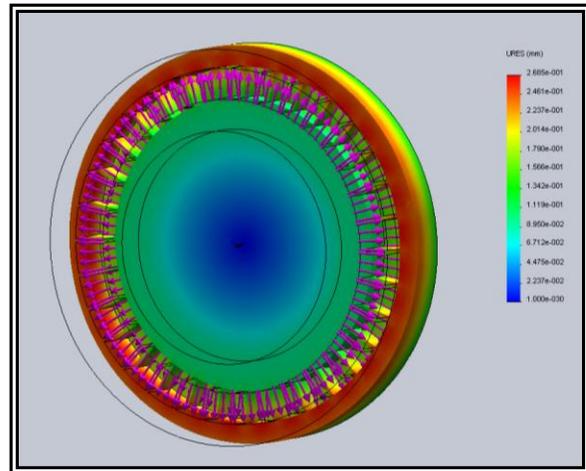


Figura 97. Desplazamiento de la lente al aplicar fuerza.

La carga máxima que soporta la lente de acuerdo al FS es de 100N, logrando un desplazamiento en dirección de la fuerza de 2.8mm y una tensión de 700 KN/m^2 lo cual es el límite elástico del material.

Cada resultado obtenido en las propuestas es diferente ya que la principal diferencia es la dirección de la fuerza aplicada y la cantidad de material elástico, al cual se le aplica dicha fuerza, puesto que en los extremos existe mayor cantidad de material que es en donde se le aplica la fuerza en la propuesta 4 y en la propuesta 3 existe menor cantidad.

CAPITULO 6

Planificación de Procesos

CAPITULO 6. Planificación de procesos

Para poder elaborar las piezas que integran la montura mecánica, es necesario describir los diferentes pasos que se deben seguir para su construcción, así como la maquinaria a utilizar dependiendo del material propuesto.

Se consideró el proceso empleado por Arriaga (2008) para la construcción de la primer montura. En el paso de planeación es necesario hacer una clasificación de las piezas que se pretenden fabricar y las que se pueden adquirir en cualquier tienda comercial. Para las piezas a comprar se pensó en que éstas fueran estándar y de fácil adquisición en la región. En la tabla 19 se muestran las piezas a maquinar y las piezas a comprar.

Tabla 19. Piezas a maquinar y comprar.

Piezas a Maquinar		
Nomenclatura	Descripción	No. de piezas
MO-09	Base guía para mordazas y eje para engrane	1
MO-10 (A-L)	Mordazas ranuradas para espiral	12
MO-11(A,B)	Engrane recto con espiral (ambas caras)	1
MO-12	Aro contenedor de mordazas y espiral	1
Total		15
Piezas a comprar		
Nomenclatura	Descripción	No. de piezas
MO-12	Tornillo para desarmador plano NC 1/8 plg x 1/4 plg	4
Total		4

6.1. Pieza de trabajo

El material seleccionado en el capítulo anterior para la manufactura de los componentes fue el aluminio, en este caso la aleación 6061. Para las piezas se usará una placa de aluminio de 4x4x1/2 plg (figura 98), una barra de 4 plg de diámetro (figura 99) y 4 $\frac{3}{4}$ plg de diámetro (figura 100).

La altura de la pieza de trabajo es variable debido a que al terminar una pieza queda una superficie plana por lo que se puede trabajar una pieza nueva. Solo se tomará como altura mínima la dimensión total de la pieza más 1 cm para poder sujetarla en la prensa o el mandril del torno, dependiendo la operación a realizar.

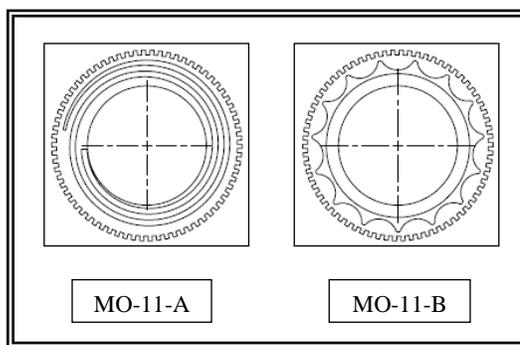


Figura 98. Pieza a trabajar en barra de aluminio de 4x4x1/2 plg.

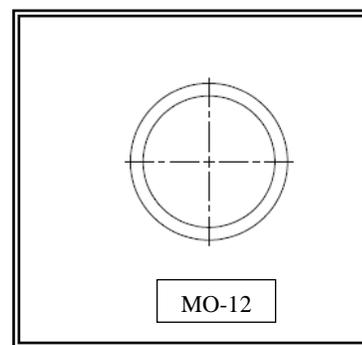


Figura 99. Pieza a trabajar en barra de aluminio de 4 plg (112 mm) de diámetro.

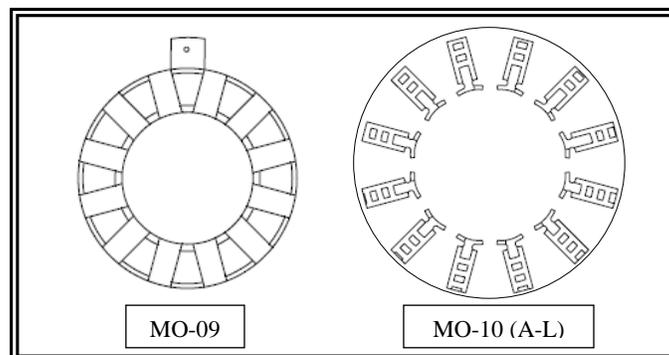


Figura 100. Piezas a trabajar en barra de aluminio de 4 $\frac{3}{4}$ plg (120 mm).

El material de los moldes será acrílico de 3/4 de plg. Para las piezas MO-16 y MO-17 se tomará un rectángulo con las dimensiones especificadas en el anexo para el molde más 1 plg (figura 101) para sujeción.

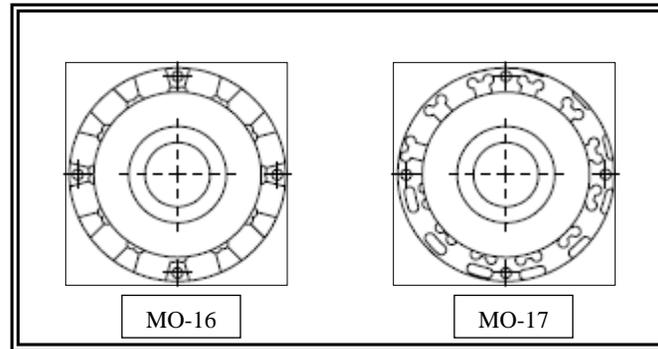


Figura 101. Piezas de trabajo en acrílico de 3/4 plg (dimensiones 209x117mm).

6.2. Operaciones y secuencias

Analizada la pieza de trabajo y su geometría, es indispensable establecer una serie de operaciones consecutivas que permitan maquinar eficientemente la pieza. El tipo de máquina-herramienta a utilizar dependerá en gran parte de la geometría a maquinar. En la construcción de los componentes de este proyecto en un futuro próximo, se considera utilizar torno, fresadora y taladro, y dependiendo de la maquinaria se especifica el tipo de operación a efectuar. Para una mejor comprensión, se muestran a continuación las diferentes representaciones de operaciones con la que cuenta cada máquina-herramienta.

Torno

Con los aditamentos adecuados, el torno puede emplearse para operaciones de torneado, hacer conos, cortar tornillos, refrentado, taladrado, mandrinado, esmerilado y pulido. Estas operaciones se pueden dividir principalmente en operaciones de torneado exterior e interior como se muestra en la figura 102.

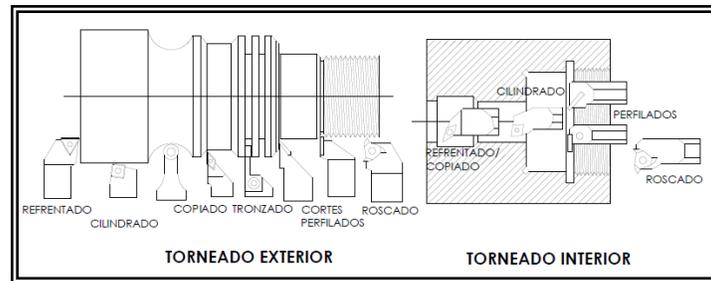


Figura 102. Operaciones con el Torno.

Fresadora

Las máquinas de fresado son capaces de llevar a cabo una gran cantidad de operaciones como se muestran en la figura 103.

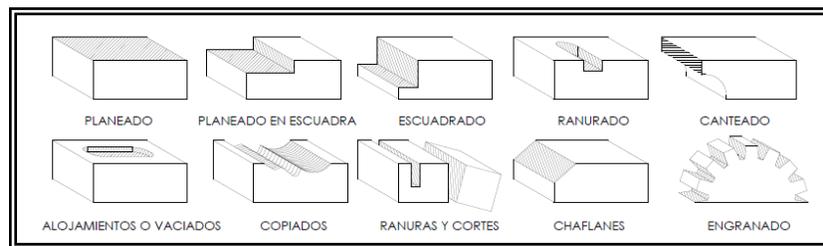


Figura 103. Operaciones de fresado.

Taladro

Los taladros pueden utilizarse para realizar una variedad de operaciones, además de taladrar una perforación redonda. Las más importantes se presentan en la figura 104.

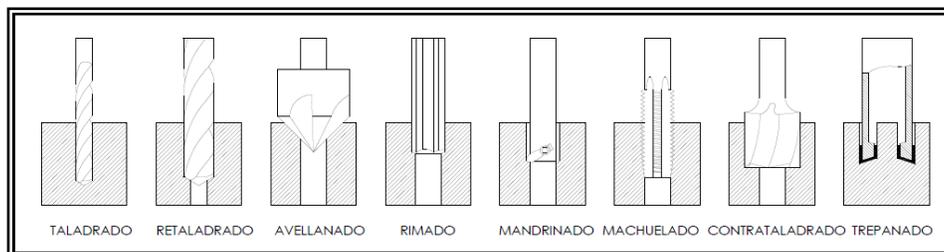


Figura 104. Operaciones con el taladro.

Se utilizarán herramientas de mano para poder efectuar algunas operaciones, como en el caso del machuelado que se hará con un maneral y para el corte de la materia prima se utilizará segueta. En la tabla 20 se especifica en orden consecutivo las operaciones que se efectuarán para cada pieza.

Tabla 20. Operaciones y secuencias que seguirán cada una de las piezas.

Nomenclatura	No	Máquina o herramienta	Operación
MO-09	1	Fresadora	Planeado
	2		Ranurado
	3	Torno	Tronzado
	4	Taladro	Taladrado en macizo
	5	Machuelo con maneral	Machuelado
MO-10 (A-L)	1	Fresadora	Planeado
	2		Escuadrado
	3		Ranurado
	4	Torno	Tronzado
MO-11(A,B)	1	Fresadora	Planeado
	2		Escuadrado
	3		Ranurado
	4	Torno	Tronzado
MO-12	1	Torno	Refrentado
	2		Cilindrado (interior y exterior)
	3		Tronzado
	4	Taladro	Taladrado en macizo
	5	Machuelo con maneral	Machuelado

6.3. Selección de la maquinaria

Para el desarrollo de las piezas se utilizará la maquinaria y equipo disponible en el laboratorio de manufactura avanzada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. De acuerdo con las operaciones y secuencias seleccionadas se elige un torno de engranajes, una fresadora *CNC* (para las

piezas que comprendan elementos geométricos complejos que requieren precisión), una fresadora horizontal universal, un taladro y un taladro fresador (para operaciones de poca remoción de material).

En la tabla 21 se muestra la maquinaria elegida, especificando el tipo de máquina, las velocidades del husillo, los avances, las dimensiones máximas de la pieza de trabajo y las piezas a maquinar.

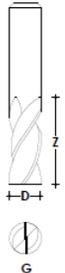
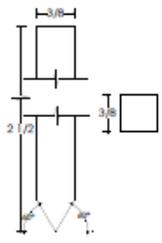
Tabla 21. Maquinaria seleccionada para la manufactura de las piezas.

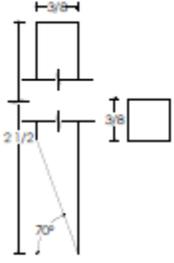
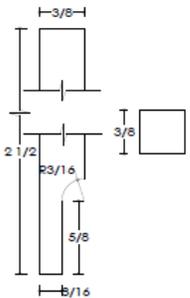
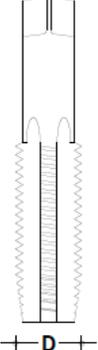
Máquina	rpm husillo	Avance	Dimensiones	Piezas
 <p>Torno Universal Marca: Trens Modelo: SN32</p>	De 14 a 2500 rpm	De 0.064 a 0.8 mm/rev	<p>Diámetro de volteo: 13 plg.</p> <p>Distancia entre puntos: 0.75 mm</p>	<p>MO-09 MO-10 (A-L) MO-12</p>
 <p>Fresadora CNC Marca: Challenger Modelo: MM430</p>	Hasta 8000 rpm	0-5000 mm/min	<p>X: 760 mm Y: 430 mm Z: 400 mm</p>	<p>MO-09 MO-10 (A-L) MO-11</p>
 <p>Taladro Fresador Marca: OTMT Modelo: OT25020</p>	100 hasta 2640 rpm	Manual	<p>X: 350 mm Y: 200 mm Z: 150 mm</p>	<p>MO-09 MO-12</p>

6.4. Selección de las herramientas

La elección de las herramientas depende del material a maquinar, la geometría de la pieza y la maquinaria a ocupar. Como el material a maquinar es una aleación de aluminio, no es necesario utilizar herramientas hechas de materiales especiales (carburo cementado, carburo de tungsteno, materiales cerámicos o con recubrimientos especiales), con herramientas de acero de alta velocidad (HSS) se pueden efectuar desbastes y acabados a buen ritmo de trabajo. Para las herramientas a utilizar en el torno se empleará acero de cobalto el cual se afilará dependiendo del tipo de la geometría de la pieza a tornearse. En la tabla 22 se describen las medidas, el material, la operación a efectuar, y las piezas a maquinar de las distintas herramientas a utilizar.

Tabla 22. Herramientas a utilizar para las operaciones en cada pieza.

Herramienta	Medidas (plg)	Material	Operación	Pieza
Cortadores verticales				
	D: 1/2 Z: 3/4 Gavilanes o filos: 4	Acero de alta velocidad (HSS)	Planeado	MO-09 MO-10 (A-L) MO-11
	D: 3/8 Z: 3/4 G: 4	HSS	Ranurado Planeado en escuadra Escuadrado	MO-09
	D: 1/8 Z: 1/2 G: 2	Carburo de tungsteno	Ranurado	MO-10 (A-L) MO-11
	D: 1/16 Z: 1/8 G: 2	Carburo de tungsteno	Escuadrado	MO-11
Buriles para torno				
	D: 3/8 L: 2 1/2	HSS	Refrentado Cilindrado Perfilado Roscado	MO-12

	<p>D: 3/8 L: 2 1/2</p>	<p>HSS</p>	<p>Cilindrado interior Refrentado interior Perfilado interior</p>	<p>MO-12</p>
	<p>D: 3/8 L: 2 1/2</p>	<p>HSS</p>	<p>Tronzado</p>	<p>MO-09 MO-10 (A-L) MO-11 MO-12</p>
Brocas				
 <p>+D+</p>	<p>D: 13/64</p>	<p>HSS</p>	<p>Taladrado Barrenado para machuelo 1/4 Retaladrado</p>	<p>MO-09</p>
	<p>D: 3/32</p>	<p>HSS</p>	<p>Taladrado Barrenado para machuelo 1/8</p>	<p>MO-09 MO-12</p>
Machuelos				
 <p>+P+</p> <p>+D+</p>	<p>D: 1/4 NC P: 20 H/PLG</p>	<p>HSS</p>	<p>Machuelado</p>	<p>MO-09</p>
	<p>D: 1/8 NC P: 40 H/PLG</p>	<p>HSS</p>	<p>Machuelado</p>	<p>MO-09 MO-12</p>

6.5. Determinación de las condiciones de maquinado

Las condiciones de maquinado (velocidad, avance, profundidad de corte) son obtenidas mediante cálculos matemáticos, los cuales están determinados por el tipo de máquina, las características de la herramienta (dimensiones, forma, número de filos), el material de la herramienta y el material a maquinar.

En las tablas 23, 24 y 25 se presentan condiciones ideales que dependen de la herramienta a utilizar y la maquinaria sobre la que esta se montará. Se observan los valores óptimos y entre paréntesis los adaptados a los proporcionados por la maquinaria seleccionada.

Taladro (brocas)

Los valores obtenidos para taladrar el aluminio con brocas de acero de alta velocidad son los siguientes:

Tabla 23. Velocidades y avances para las brocas a utilizar.

Diámetro broca hss (plg)	Velocidad de corte (rev/min)	Avance (mm/min)
25/64	1960 (2500)	196-353
1/4	3055 (2500)	306-550
13/64	3930 (4650)	197-393
5/32	4775 (4650)	238-477
1/8	6110 (4650)	122-305
3/32	8530 (4650)	170-425

Torno (buriles)

Los valores de la tabla 24 están calculados para corte de aluminio con un buril de acero de alta velocidad.

Tabla 24. Velocidades en el torno para los distintos diámetros de piezas.

Diámetro de pieza (plg)	Operación	Velocidad de husillo (rev/min)	Avance por revolución (mm)	Profundidad de corte (mm)
4 ³ / ₄ -3	Desbaste	191-255 (270)	0.4-0.75	0.76-1
	Acabado	286-382 (375)	0.13-0.25	>0.13
3-2	Desbaste	255-382 (270)	0.4-0.75	0.76-1
	Acabado	382-573 (375)	0.13-0.25	>0.13
2-1	Desbaste	382-764 (700)	0.4-0.75	0.76-1
	Acabado	573-1146 (700)	0.13-0.25	>0.13
< 1	Desbaste	<764 (700)	0.4-0.75	0.76-1
	Acabado	<1146 (700)	0.13-0.25	>0.13

Fresa (cortadores verticales)

Las condiciones de los cortadores verticales dependen del material de la herramienta, el diámetro (D) y el número de gavilanes (G). La velocidad de rotación del cortador está determinada por su diámetro exterior a través de la fórmula:

$$N = \frac{v}{\pi D}$$

donde

N=Velocidad de rotación (rev/min)

v=Velocidad de corte (m/min)

D=diámetro del cortador

El avance se determina como el avance por diente cortante y se puede convertir en velocidad de avance utilizando:

$$f_r = N n_t f$$

donde

f_r= Velocidad de avance (mm/min)

N= Velocidad del husillo (rev/min)

n_t= número de dientes en la fresa

f= Carga de viruta (mm/diente)

En la tabla 25 se muestran las diferentes velocidades y avances que se obtuvieron a partir de las formulas mencionadas.

Tabla 25. Velocidades y avances para los cortadores verticales a utilizar.

Material	g	Diámetro herramienta (plg)	Velocidad de corte (rev/min)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)
HSS	4	1/2	3750-7500 (2500)	4200-8400	0.4 (mínimo)
HSS	4	3/8	5000-10000 (2500)	5200-10400	0.4 (mínimo)
HSS	4	1/4	7500-15000 (2500)	3900-7800	0.4 (mínimo)
Carburo	2	1/8	30000-60000 (2500)	15000-30000	0.4 (mínimo)
Carburo	2	1/16	60000-120000 (2500)	30000-60000	0.4 (mínimo)

La obtención de los valores desmesurados para los condiciones de corte del fresado se originan en primera instancia porque la fórmula empleada para calcular la velocidad del husillo, implica que mientras menor sea el diámetro de la herramienta mayor será la velocidad, y el avance al ser directamente proporcional a dicha velocidad también aumenta. Por otro lado, los valores sugeridos son en base a una herramienta de 1" de diámetro y en la mayoría de los casos la herramienta con menor diámetro considerada en de 1/2".

Sin embargo como menciona Merlin (2009) la tabla de avance por diente recomendado para maquinado con cortadores de acero de alta velocidad del Machinery's Handbook se observa que se han considerado cortadores de hasta 1/4", y se deduce que por cada 1/8" en la disminución de la herramienta el avance por diente disminuye en 0.001 plg/diente. Con base en esta escala se pretende determinar los valores del avance para cada herramienta.

En el caso de la velocidad de corte se calculó de manera inversa, esto es, parte del supuesto de no rebasar las 3000 rpm como velocidad del husillo para la herramienta más pequeña y se busca un decremento relativamente uniforme al incrementar el diámetro de la herramienta. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Tabla de velocidades modificadas y ajustadas para las piezas.

Material	g	Diámetro herramienta (plg)	Velocidad de corte (rev/min)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)
HSS	4	1/2	1261	512.27	0.4 (mínimo)
HSS	4	3/8	1800	384.20	0.4 (mínimo)
HSS	4	1/4	1833	372.56	0.4 (mínimo)
Carburo	2	1/8	2322	521.36	0.4 (mínimo)
Carburo	2	1/16	2934	589.89	0.4 (mínimo)

Para las condiciones de maquinado de los moldes, los valores asignados son mayores que los calculados para las demás piezas, esto por las propiedades mecánicas del acrílico (*polimetilmetacrilato*) que están por debajo de la mitad de las de la aleación de aluminio seleccionada. Por lo que las velocidades, avances y profundidades de corte serán duplicados, tomando en cuenta las capacidades de la máquina.

Conclusiones

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto partió de la necesidad de poder mejorar el diseño de un prototipo de la montura y lente sólida elástica para ser aplicados como modelo del ojo humano, debido a que presentaba una serie de problemas que generaban aberraciones adicionales a las formadas por la propia lente como sistema óptico.

Se comenzó por conocer el modelo opto-mecánico y su funcionamiento a nivel sistema y posteriormente en subsistemas (montura, SEL, carcasa). Así mismo se realizó un análisis estructural y de funcionamiento del sistema completo y un análisis funcional y de valor de la montura mecánica; se hizo énfasis en la montura mecánica-SEL debido a que fue en esta parte donde se concentraban los problemas detectados. Estos análisis fueron de gran importancia para conocer sus virtudes y defectos, y en base a ello generar alternativas de mejora.

Las propuestas generadas y plasmadas mediante bocetos fueron convertidas a modelos tridimensionales y posteriormente fueron evaluadas a través de un análisis matemático denominado Valor Técnico Ponderado (VTP), mediante el cual se pudo seleccionar la propuesta que presentaba mayor ventaja y solución sobre las demás, esto en base a los requerimientos de diseño.

La propuesta elegida fue sometida a una exploración para comprobar su funcionamiento y como resultado del análisis y perfeccionamiento de la montura mecánica en su conjunto, se generaron resultados satisfactorios, es decir, al mejorar la geometría e incrementar el número de mordazas incrustadas en la lente sólida elástica (SEL) se consiguió tener mayor área de sujeción de la lente, ya que anteriormente no se consideró una geometría capaz de sujetar la mayor cantidad de lente elástica, lo que provocó cargas en

puntos específicos de la lente, dando como resultado una elongación no uniforme y con ello la generación de aberraciones.

La implementación del seguro en la montura mecánica permitirá la medición de la elongación en la lente a través del conteo de los dientes del engrane, lo cual ayudará a tener un control más preciso. Por otro lado, el usuario tendrá un mejor manejo y apoyo al hacer girar el engrane con la mano para tensar y permitir la deformación y recuperación de la lente.

En el transcurso del proyecto se siguieron cada una de las fases que conforman la metodología correspondiente al proceso genérico de desarrollo del producto, así mismo la sub-metodología para el análisis de elementos finitos (FEA), el cual permitió la visualización del comportamiento de los elementos principales y de esta forma hallar los límites sobre los cuales podían trabajar. Mediante este análisis se midieron los parámetros que intervienen en la deformación de la lente y el proceso de obtención de resultados.

Se obtuvo la carga máxima que soporta el sistema, los factores de seguridad con los que trabaja, la tensión máxima generada por la aplicación de la carga, los probables puntos de fractura de la pieza, los desplazamientos máximos en cada punto, entre otros. Con la obtención de estos datos, se pudo optimizar el diseño: cambiando dimensiones, replanteando la forma, eliminando material, modificando el sistema e incluso seleccionando otro material con distintas propiedades mecánicas, como en el caso del seguro, que por sus características se cambió a un material más resistente debido a las condiciones en las que trabaja.

Fueron empleados diferentes tipos de software de acuerdo al proceso en que se encontraba trabajando. La utilización de herramientas CAD/CAM permitieron realizar diseños preliminares, Rhino® para el desarrollo de las propuestas con sus respectivas medidas, 3d Max® para renderización y animaciones de dispositivos, Solidworks® para análisis de diseño mecánico y la aplicación del complemento Solidworks Simulation® para los análisis de elemento finito. La utilización de estas herramientas ahorró tiempo y optimizó el diseño.

Como trabajos futuros se pretende construir el prototipo de la montura mecánica, es por ello que se realizó una planeación de procesos en donde se ajustaron las operaciones necesarias a implementar en la construcción de las nuevas piezas de la montura mecánica, en base a la maquinaria-herramienta de la que dispone el laboratorio de manufactura avanzada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

De todo esto se deduce la importancia de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera ya que permitieron aplicarlos en el desarrollo de este proyecto, obteniendo resultados aceptables.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Víctor Manuel García Luna, “Tesis de Licenciatura: Diseño, construcción y caracterización de un sistema optomecánico adaptativo y su aplicación en el diseño de un instrumento óptico”, UTM. Asesores Dr. Agustín Santiago Alvarado y Víctor Manuel Cruz Martínez (2006).

Rubén Arriaga Martínez, “Tesis de Licenciatura: Diseño y construcción de un modelo opto-mecánico del ojo humano utilizando una lente adaptativa,” UTM. Asesores: Dr. Agustín Santiago Alvarado M. C. Víctor Manuel Cruz Martínez (2008).

Diana Carolina Jarquín González, “Tesis de Licenciatura: Procesamiento de interferogramas para obtener las aberraciones de una lente adaptativa”, UTM. Asesores Dr. Agustín Santiago Alvarado y Alejandro Cruz Martínez (2007).

Alma Lilia Moreno Ríos, “Tesis de Licenciatura: Obtención de mapas de esfuerzos de membranas elásticas mediante ingeniería asistida por computadora (CAE),” UTM. Asesores Dr. Agustín Santiago Alvarado y MC. Alvaro Jesús Mendoza Jasso (2008).

Santiago–Alvarado, S. Vázquez–Montie, F. Iturbide–Jiménez, R. Arriaga–Martínez, and J. González–García, “The Design, Construction and Characterization of a Solid Elastic Lens,” Aceptado y publicado en el congreso internacional de la SPIE-2008 llevado a cabo en San Diego California (2008).

Hecht Eugene. “Óptica”. Ed. Addison Wesley Iberoamericana, 3era. Edición. Madrid (2000).

Iturbide Jiménez, Fernando; Verónica Amela Tarongi; Javier Cepria Bernal & Carlos Navarro Rubert. (2008) Herramientas de Ingeniería Asistida Por Ordenador. Presentación de elaborada en la Universitat Jaume, España. (inédito)

Escuer J. M. (2003) Posgrado en Ingeniería Asistida por Ordenador: CAE. IDIADA Automotive Technology, SA Institut Catalan de Tecnología Universitat Politecnica de Catalan

Miguel Escribano Rodenas. Finite Element Analysis: a very recent methodology in economics. Departamento de Economía Financiera y Contabilidad I. (Escuela Universitaria de Estudios Empresariales). Universidad Complutense de Madrid.

Artículo. Enrique Yacuzzi, Fernando Martín.-QFD: Conceptos, Aplicaciones y nuevos desarrollos. (Universidad del CEMA) (Aventis Pharma).

Askeland, Donald R., “Ciencia e ingeniería de los materiales”, Ed. International Thompson Editores, 3ra ed. México (1982).

Aguayo Francisco y Soltero Victor M. Metodología del Diseño Industrial: Un enfoque desde la ingeniería concurrente.(2003), Edición RA-MA

A. Santiago-Alvarado, S. Vázquez-Montiel, F. S. Granados-Agustín, J. González-García, E. Rueda-Soriano, and M. Campos-García, “Measurement of aberrations of a solid elastic lens using a Point Diffraction Interferometer,” *Opt. Eng.* Vol. **49**, No. 12, 123401 (2010). ISSN: 0091-3286 (print); 1560-2303 (online)

A. Santiago-Alvarado, S. Vázquez-Montiel, F. Iturbide-Jiménez, R. Arriaga-Martínez, and J. González-García, “The Design, Construction and Characterization of a Solid Elastic Lens,” in *Current Developments in Lens Design and Optical Engineering IX*, Pantazis Z. Mouroulis, Warren J. Smith, R. Barry Johnson, eds., Proc. SPIE **7060**, 706017 (2008). ISBN: 9780819472809

APÉNDICES

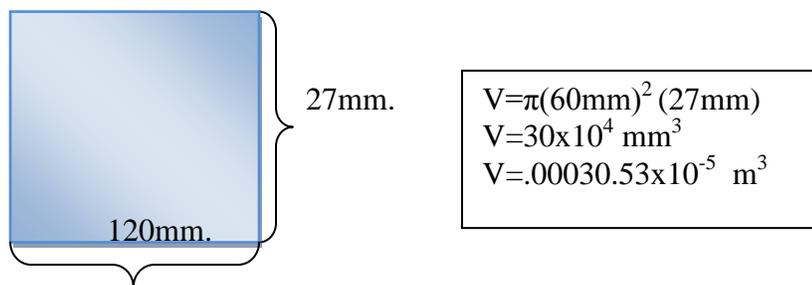
Apéndices

APÉNDICE A. Cálculo del costo de maquinado de las piezas de la montura

Para obtener los costos que genera la elaboración de la montura es necesario saber el costo de maquinado por hora, el tiempo de maquinado, el costo del aluminio, la materia prima para la elaboración de la lente elástica.

Para conocer el costo de las piezas es necesario conocer el volumen de cada una. En el caso de la pieza MO-09 se cálculo de la siguiente manera:

Se obtiene el volumen del cilindro que será maquinado para la elaboración de la base mediante la sig. formula $V = \pi r^2 h$ teniendo las siguientes medidas:



Una vez obtenido el volumen del cilindro, se determina la densidad del aluminio en 1 m^3 para poder calcular su peso. La densidad del aluminio es de 2698 Kg/m^3 . Ahora se calcula el peso de la pieza a maquinar y se determina su costo sabiendo que el aluminio cuesta \$29000 Ton.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\frac{2698 \text{ Kg} = 1\text{m}^3}{\text{---Kg} = 30.53 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = .824 \text{ Kg} \quad \frac{1000 \text{ Kg} = \$29000}{.824 \text{ Kg} = \text{---}} = \$24$$

Ahora se calcula el tiempo de maquinado para poder determinar el costo considerando que 1 hora de maquinado cuesta \$30 DLL.

Primero se calcula el área a recorrer por el cortador de la fresadora, en el caso de la pieza MO-09 que tiene un diámetro de 120 mm el área es de

11309.73553 mm², se determina también la profundidad de corte equivalente a 0.4mm. Una vez determinados estos parámetros se divide la altura total de la pieza a maquinar entre la profundidad de corte para calcular el número de pasos, que son las veces que se recorre el área a maquinar. La altura total (27mm) dividida entre la profundidad de corte da como resultado 68.

Ahora se determina el área total que la fresa recorre multiplicando el número de pasos y el área de la base, lo cual da como resultado 769061.88 mm².

Después se divide entre el avance de la fresadora obtenido de la tabla de velocidades de los capítulos anteriores, para el caso de la base se tomó 4200mm/min, dando como resultado 183.11 min y dividiéndolo entre 60 min que tiene una hora se obtiene un tiempo de 3 hrs para la primera operación.

Se realiza el mismo procedimiento en las piezas faltantes para determinar el costo total de la montura mecánica-SEL, los cuales se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Costo de maquinado de las piezas de la montura mecánica-SEL.

	Pieza	Costo de Aluminio	Operación	Tiempo de maquinado	Costo de maquinado
	MO-09	\$24	Planeado	6 min	\$36
			Ranurado	3:20 hrs	\$1200
	MO-10 (A-L)	\$11	Planeado	5 min	\$30
			Escuadrado	1hr	\$360
			Ranurado	1:10 hrs	\$420
	MO-11 (A-B)	\$6	Planeado	6 min	\$36
			Escuadrado	1:35 hrs	\$570
			Ranurado	3:52 hrs	\$1392
Costo		\$41			\$4044
Costo total de la realización de la montura mecánica-SEL					\$4085

APÉNDICE B. Materiales empleados en el modelo opto-mecánico

Aluminio: El aluminio tiene una densidad de 2.7 g/cm^3 , la tercera parte de la densidad del acero y un módulo de elasticidad de 68965 N/mm^2 . Aunque las aleaciones de aluminio tienen propiedades a la tensión relativamente bajas en comparación con las del acero, su resistencia específica, es decir, su relación resistencia-peso es excelente, a menudo se utiliza cuando el peso es un factor de importancia, como en aeronaves y aplicaciones automotrices¹⁶.

La mayoría de las aleaciones de aluminio pueden ser cortadas a alta velocidad, resultando un buen acabado superficial y una larga duración de la herramienta.

PoliDiMetil Siloxano Sylgar 184: Es un material perteneciente a la familia de los Elastómeros termo-plásticos TPE (figura 105) y proviene del polímero del Silicón, que es el material elástico más activo y del que más aplicaciones se han reportado en la literatura¹⁷. Por las características que presenta tiene aplicaciones y usos industriales como:

- a) Micro-moldes para realizar réplicas de estructuras con formas complejas.
- b) Micro-válvulas que regulan el paso de un micro-fluido gracias a la excelente propiedad de sellado que presenta este tipo de material.
- c) Hojas de membranas planas para protección de equipos o aislantes donde se requiere caracterizar las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas.
- d) Micro lentes las cuales cambian su longitud focal al cambiar el volumen del medio líquido contenido en ellas.

¹⁶ Askeland, D.R. (1982). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Thompson Editores.

¹⁷ Moreno, A. L. (2008) Tesis: "Obtención de mapas de esfuerzos de membranas elásticas mediante ingeniería asistida por computadora (CAE)"

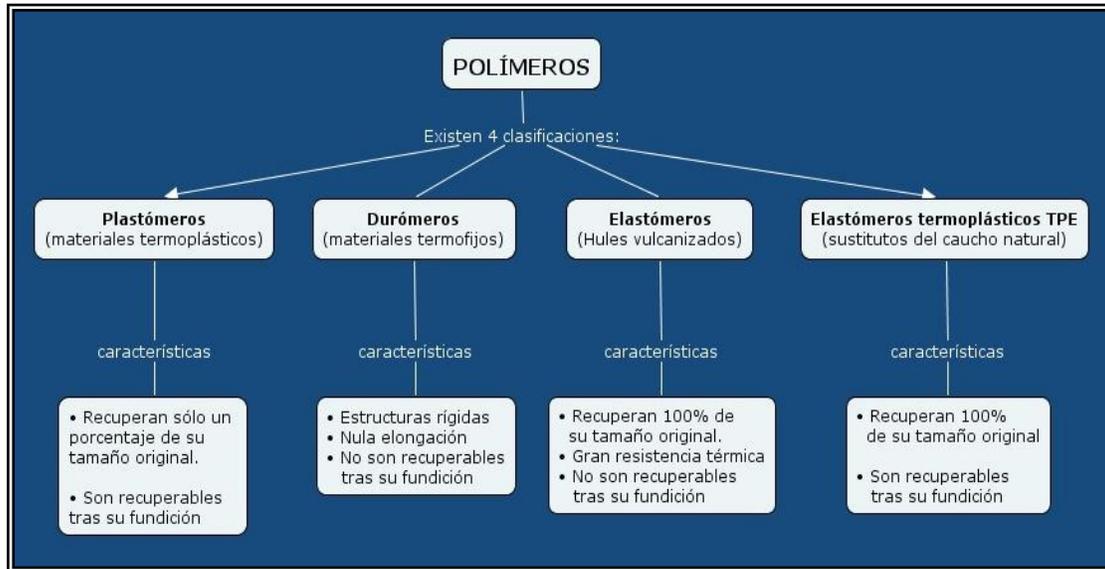


Figura 105. Elastómeros termo-plásticos TPE.

En la tabla 28 se muestran los parámetros del PDMS, material con el cual ha sido fabricada la SEL.

Tabla 28. Parámetros del material Sylgar 184.

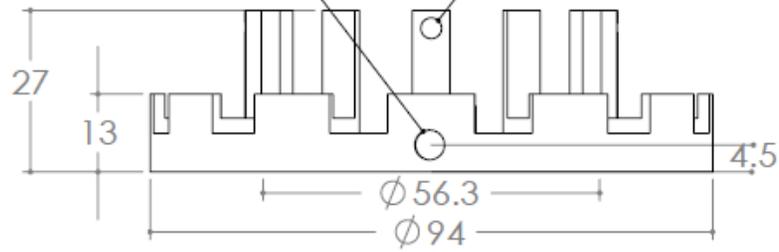
Parámetro	Valor
Módulo Elástico	1.2 MPa(MN/m ²)
Coefficiente de Poisson	0.46
Módulo Cortante	411 KPa (KN/m ²)
Densidad	9.82×10 ⁻⁴ gr./mm ³
Límite de tracción	2.5 MPa (MN/ m ²)
Limite Elástico	700KPa (KN/m ²)
Conductividad Térmica	0.2 W/(m·K)
Coefficiente de expansión térmica	310µm/(m°C)

PLANOS CONSTRUCTIVOS

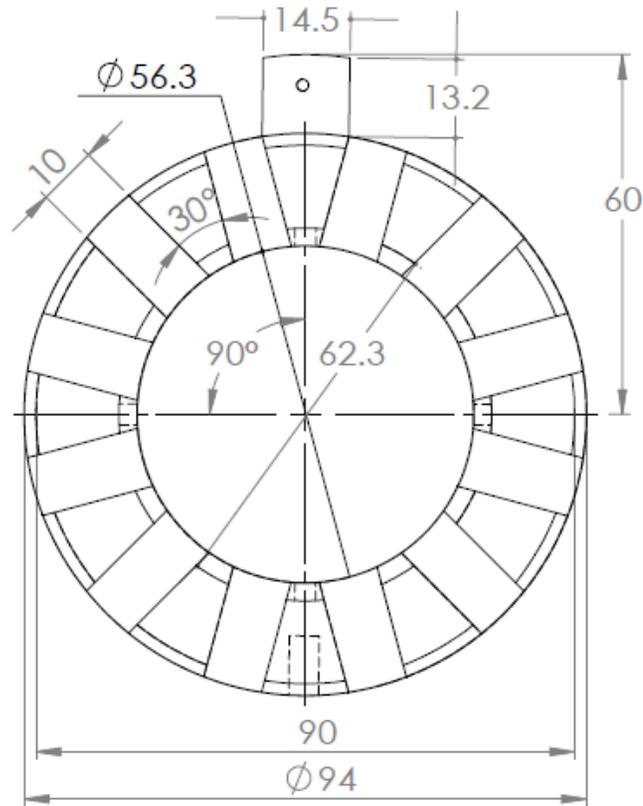
Planos constructivos

BARRENO CON BROCA No. 7
PARA MACHUELO DE 1/4 DE PLG NC

BARRENO PASADO CON BROCA No. 29
PARA MACHUELO DE 1/8 DE PLG NC



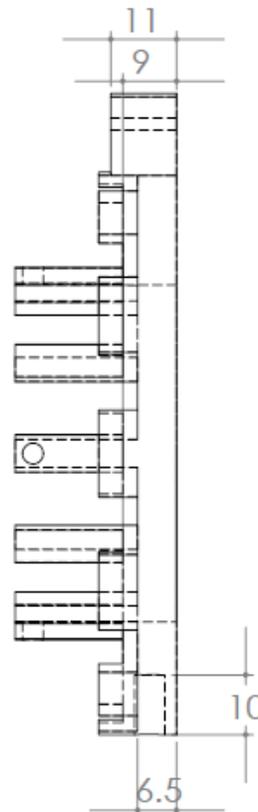
VISTA SUPERIOR



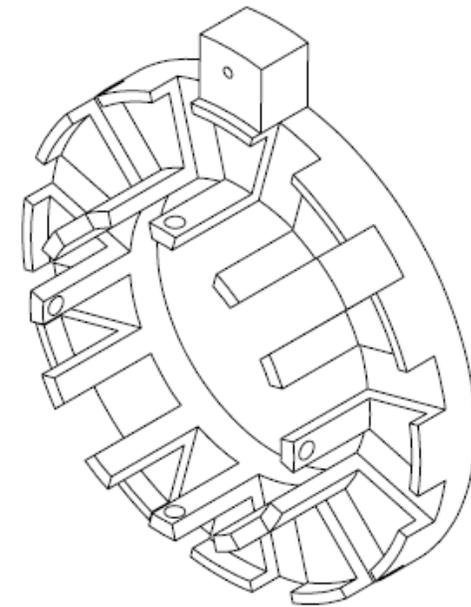
VISTA FRONTAL

PIEZA 1

No.	OPERACIÓN	MÁQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (MM/MIN O MM)	PROF.
1	PLANEADO	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	APROX 6300	min 0.4
2	RANURADO	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 3/8 PLG	2500	APROX 7800	min 0.4
3	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000-EX	BURIL 4	125		VAR
4	TALADRO EN MACIZO	TALADRO VIMALERT M-15	BROCA HSS 13/64 Y 3/32 PLG	4650	197-393	13/64
5	MACHUELADO	MANERAL AJUSTABLE	MACH HSS NC 1/4 Y 1/8 NC	4650	170-425	3/32



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO

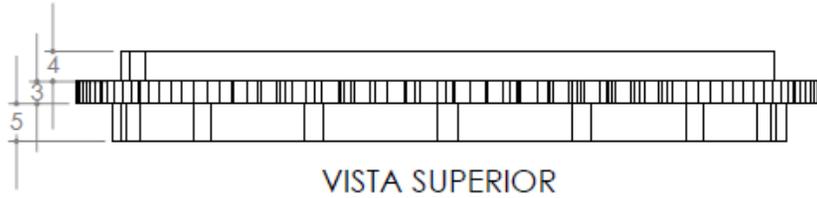


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PLANO No.

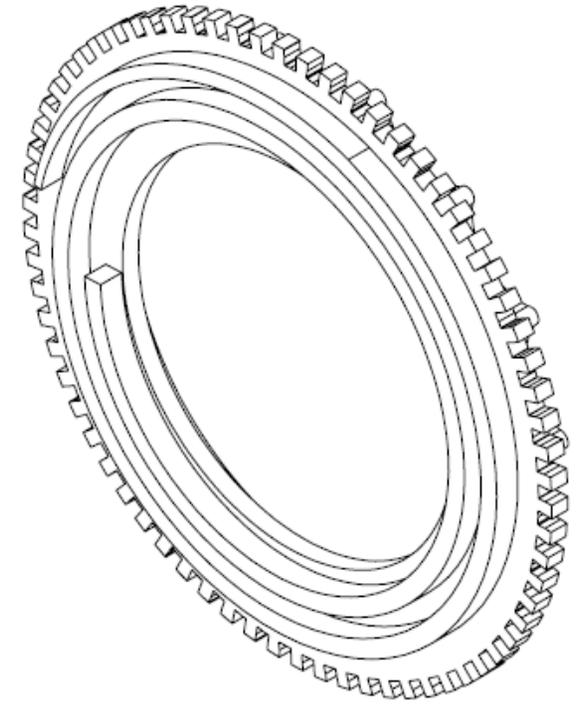
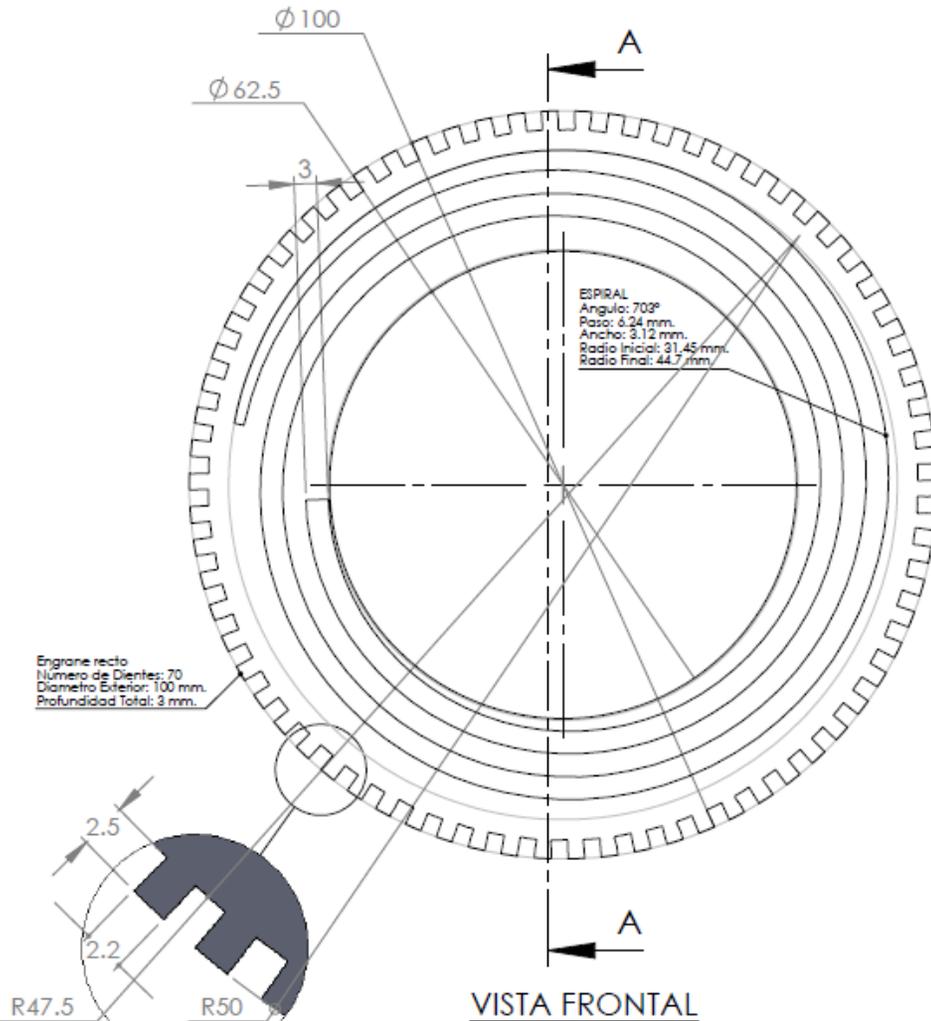
PL-01

PROYECTO	TÍTULO: ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA				
FECHA DE ELABORACIÓN	ACOTACIÓN:	ESCALA:	TOLERANCIA:	SISTEMA:	HOJA:
29/06/2011	mm.	SIN ESCALA	+/- 0.05		1 DE 14
DIBUJO:	REVISO:	APROBO:			
VICTOR CASTILLEJOS REYES	FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	JORGE GONZÁLEZ GARCÍA			



PIEZA 2-A

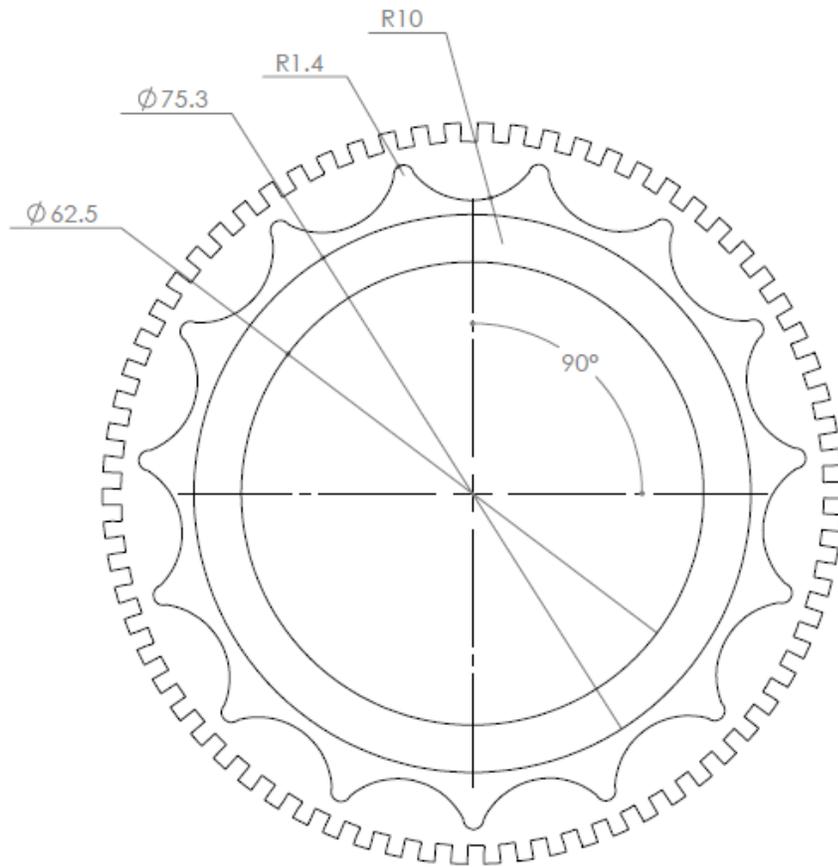
No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	PLANEADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	aprox 6300	min 0.4
2	ESCUADRADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/8 PLG	2500	aprox 45000	min 0.4
3	RANURADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/16 PLG	2500	aprox 22500	min 0.4
4	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR



		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PLANO No. PL-02	
TÍTULO: PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA					
FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011	ACOTACIÓN: mm.	ESCALA: 1 : 1	TOLERANCIA: +/- 0.05	SISTEMA: 	HOJA: 2 DE 14
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES		REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMÉNEZ		APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA	



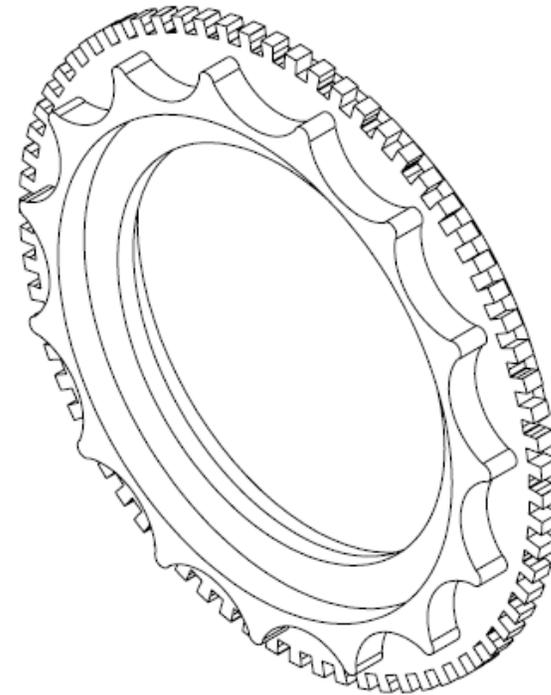
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

PIEZA 2-B

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	PLANEADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	aprox 6300	min 0.4
2	ESCUADRADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/8 PLG	2500	aprox 45000	min 0.4
3	RANURADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/16 PLG	2500	aprox 22500	min 0.4
4	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR



ISOMÉTRICO

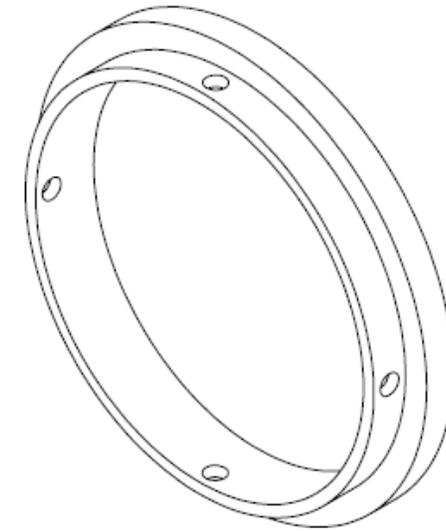
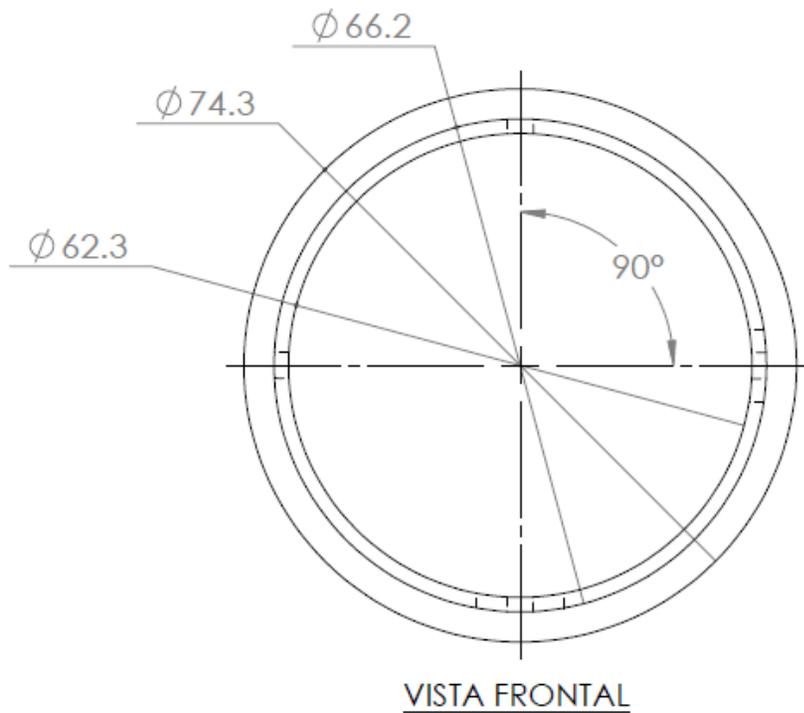
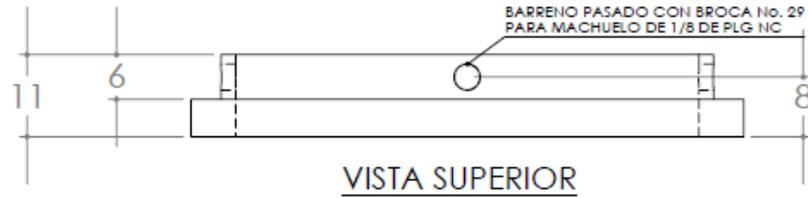


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PLANO No.

PL-03

PROYECTO		TÍTULO:			
ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA					
FECHA DE ELABORACIÓN:	ACOTACIÓN:	ESCALA:	TOLERANCIA:	SISTEMA:	HOJA:
29/06/2011	mm.	1 : 1	+ - 0.05		3 DE 14
DIBUJO:	REVISO:	APROBO:			
VICTOR CASTILLEJOS REYES	FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	JORGE GONZÁLEZ GARCÍA			



PIEZA 3

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	REFRENTADO (EXTERIOR E INTERIOR)	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 1	375	0.13 - 0.3	0.13 - 1
2	CILINDRADO (EXTERIOR E INTERIOR)	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 1	375	0.13 - 0.3	0.13 - 1
3	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR
4	TALADRADO EN MACIZO	TALADRO VIMALERT M-15	BROCAS HSS 3/32 PLG	4650	197 - 393	
5	MACHUELADO	MANERAL AJUSTABLE	MACHUELO HSS 1/8 NC			



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

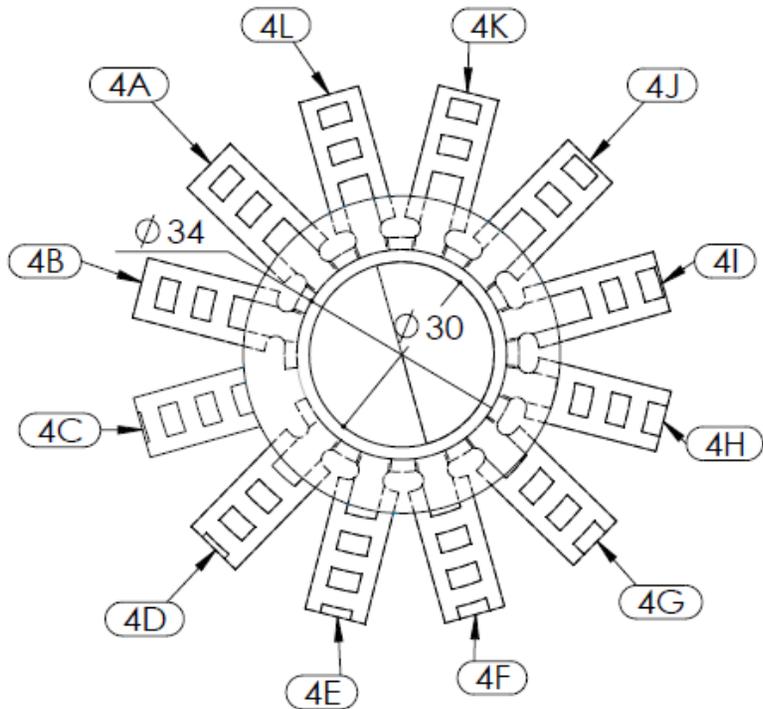
PLANO No.

PL-04

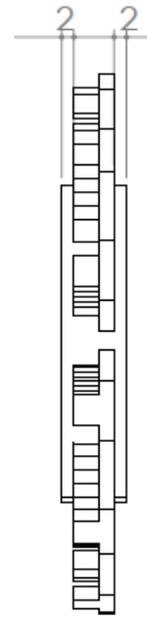
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011 ACOTACIÓN: mm. ESCALA: 1 : 1 TOLERANCIA: +- 0.05 SISTEMA: HOJA: 4 DE 14

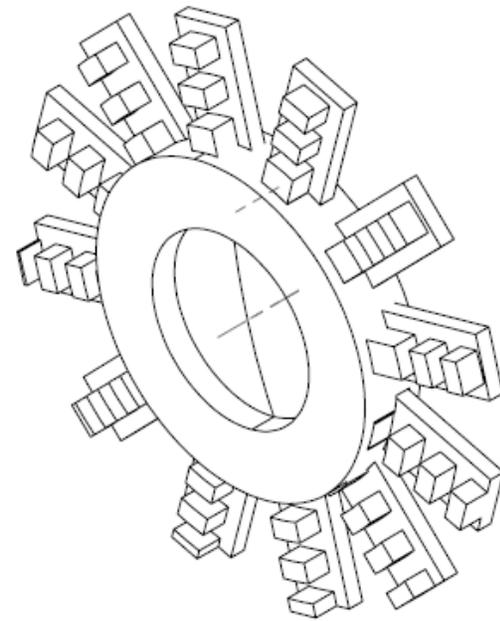
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES REVISÓ: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA



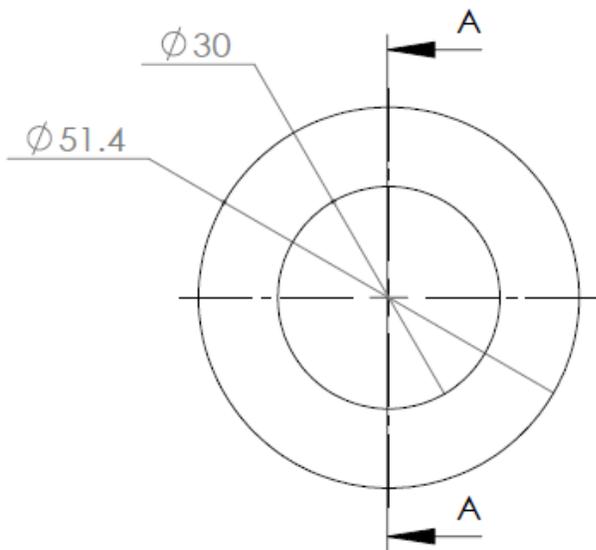
VISTA SUPERIOR



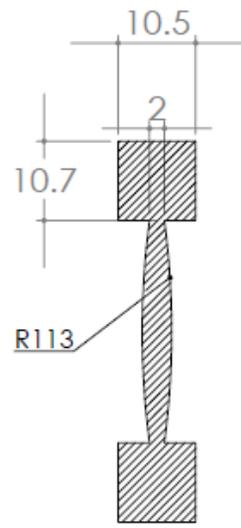
VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO

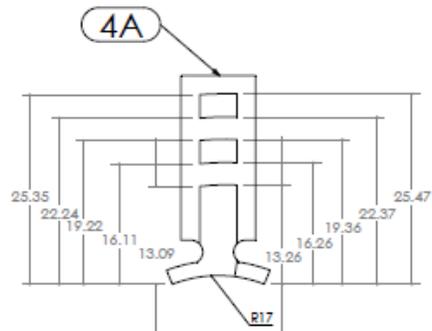


VISTA FRONTAL

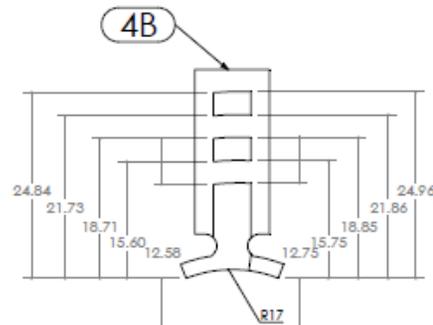


SECCIÓN A-A

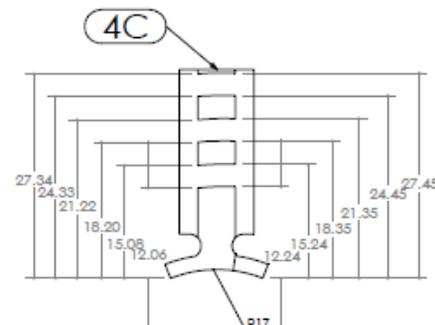
		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PLANO No. PL-05	
PROYECTO: ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA		TÍTULO:			
FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011	ACOTACIÓN: mm.	ESCALA: 1:1	TOLERANCIA: +/- 0.05	SISTEMA: 	HOJA: 5 DE 14
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES	REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA			



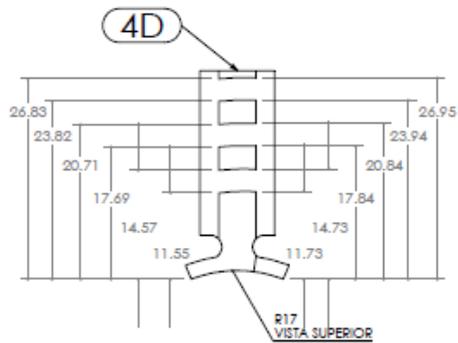
VISTA SUPERIOR



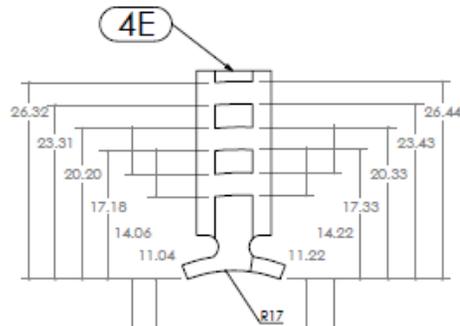
VISTA SUPERIOR



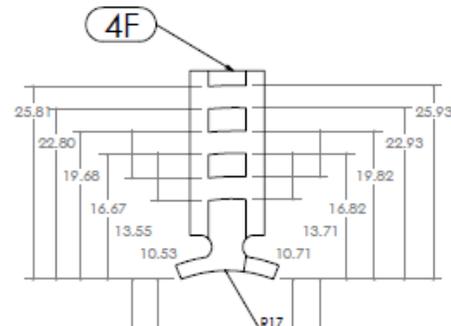
VISTA SUPERIOR



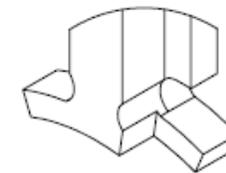
VISTA SUPERIOR



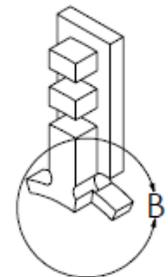
VISTA SUPERIOR



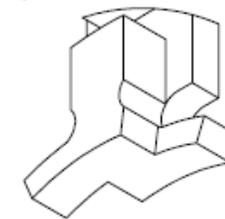
VISTA SUPERIOR



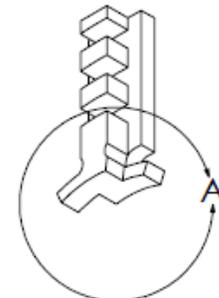
DETALLE B



ISOMÉTRICO



DETALLE A



ISOMÉTRICO

PIEZA 4 (A-F)

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	PLANEADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	aprox 6300	min 0.4
2	ESCUADRADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/8 PLG	2500	aprox 22500	min 0.4
3	RANURADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/16 PLG	2500	aprox 45000	min 0.4
4	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

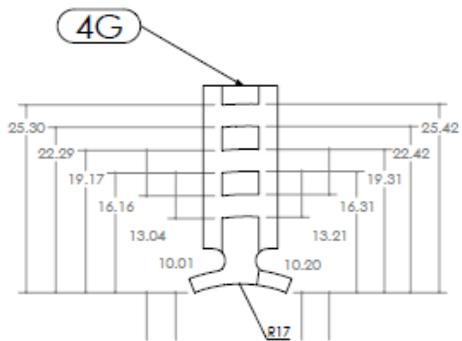
PLANO No.

PL-06

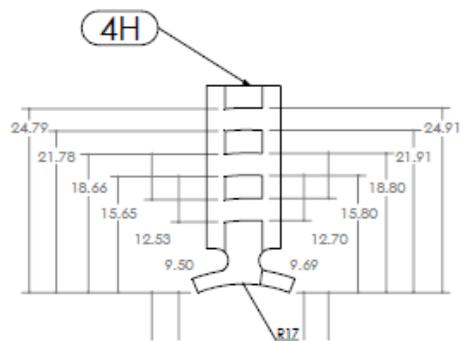
TÍTULO:
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011 ACOTACIÓN: mm. ESCALA: 1 : 1 TOLERANCIA: +- 0.05 SISTEMA: HOJA: 6 DE 14

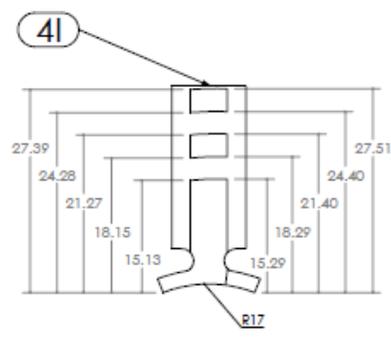
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA



VISTA SUPERIOR



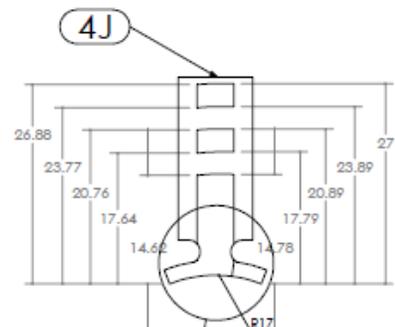
VISTA SUPERIOR



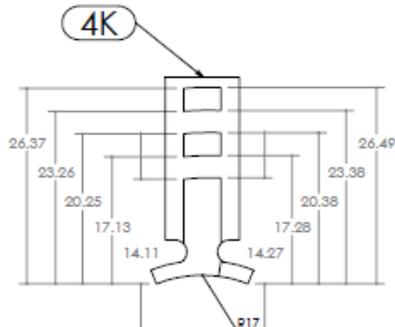
VISTA SUPERIOR



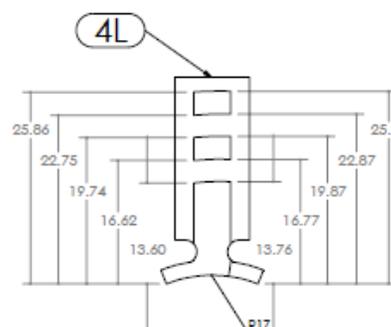
VISTA LATERAL



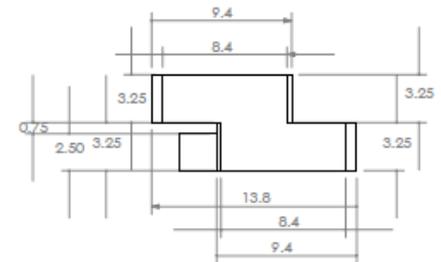
VISTA SUPERIOR



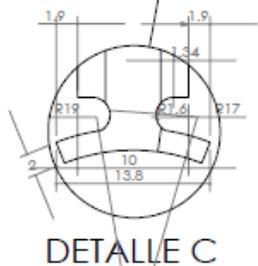
VISTA SUPERIOR



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



DETALLE C

PIEZA 4 (G-L)

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	PLANEADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	aprox 6300	min 0.4
2	ESCUADRADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/8 PLG	2500	aprox 22500	min 0.4
3	RANURADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/16 PLG	2500	aprox 45000	min 0.4
4	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR

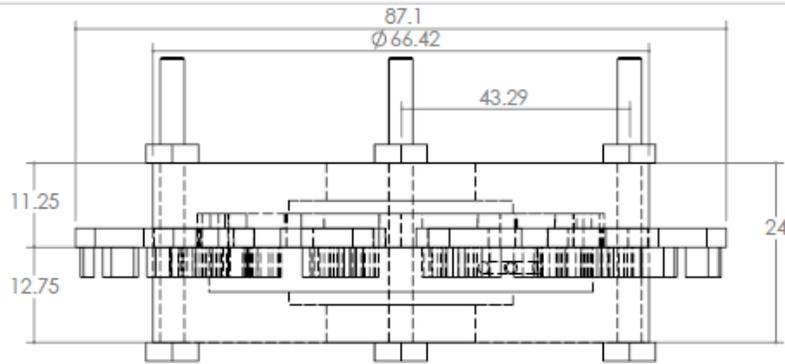


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

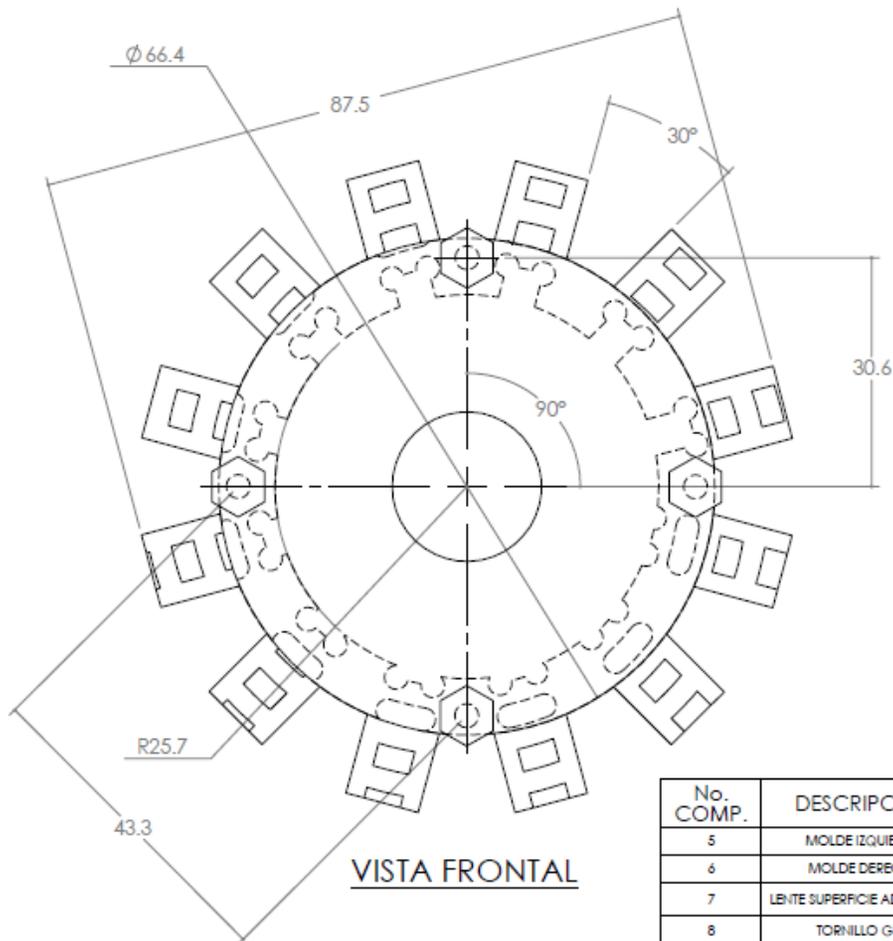
PLANO No.

PL-07

PROYECTO		TÍTULO: ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA			
FECHA DE ELABORACIÓN 29/06/2011	ACOTACIÓN: mm.	ESCALA: 1 : 1	TOLERANCIA: +- 0.05	SISTEMA: 	HOJA: 7 DE 14
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES	REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA			



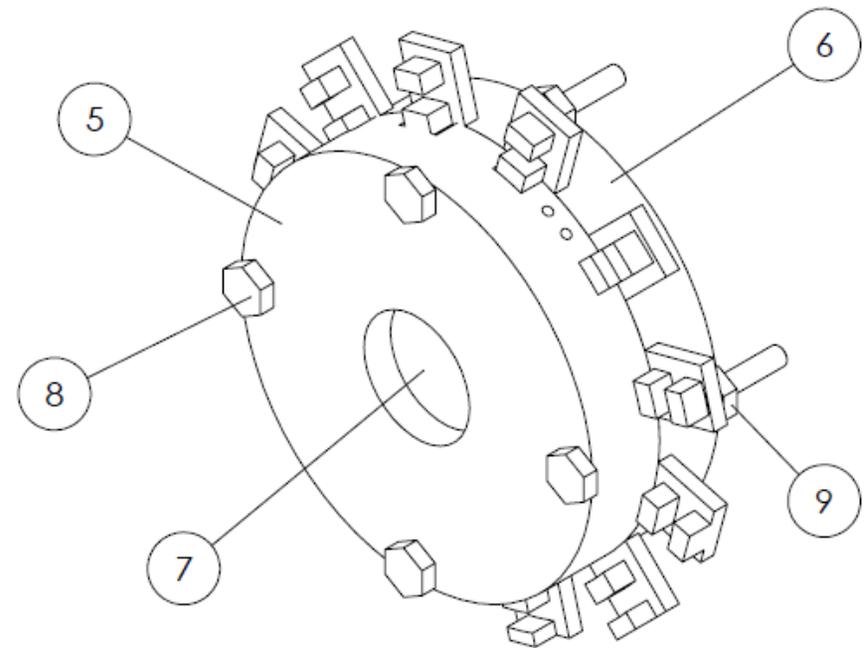
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

PIEZA 5 PIEZA 6

No.	OPERACIÓN	MÁQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (MM/MIN O MM)	PROF.
1	PLANEADO	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 2G 1/8 PLG	2500	100	min 0.4
2	PLANEADO EN ESCUADRA	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 2G 1/8 PLG	2500	100	min 0.4
3	RANURADO	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 2G 1/8 PLG	125	100	min 0.4
4	CORTADO	FRES. CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 2G 1/8 PLG	4650	100	min 0.4
5	TALADRO EN MACIZO	TALADRO VIMALERT M-15	BROCA HSS 13/64 Y 3/32 PLG	4650	VAR	



ISOMÉTRICO

No. COMP.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
5	MOLDE IZQUIERDO	ACRILICO 3/4 PLG	1
6	MOLDE DERECHO	ACRILICO 3/4 PLG	1
7	LENTE SUPERFICIE ADAPTATIVA	VIDRIO OPTICO	1
8	TORNILLO GUIA	TOR HEX NC 1/8 PLG X 1/2 PLG	4
9	TUERCA TORNILLO GUIA	TUER HEX NC 1/8	4



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

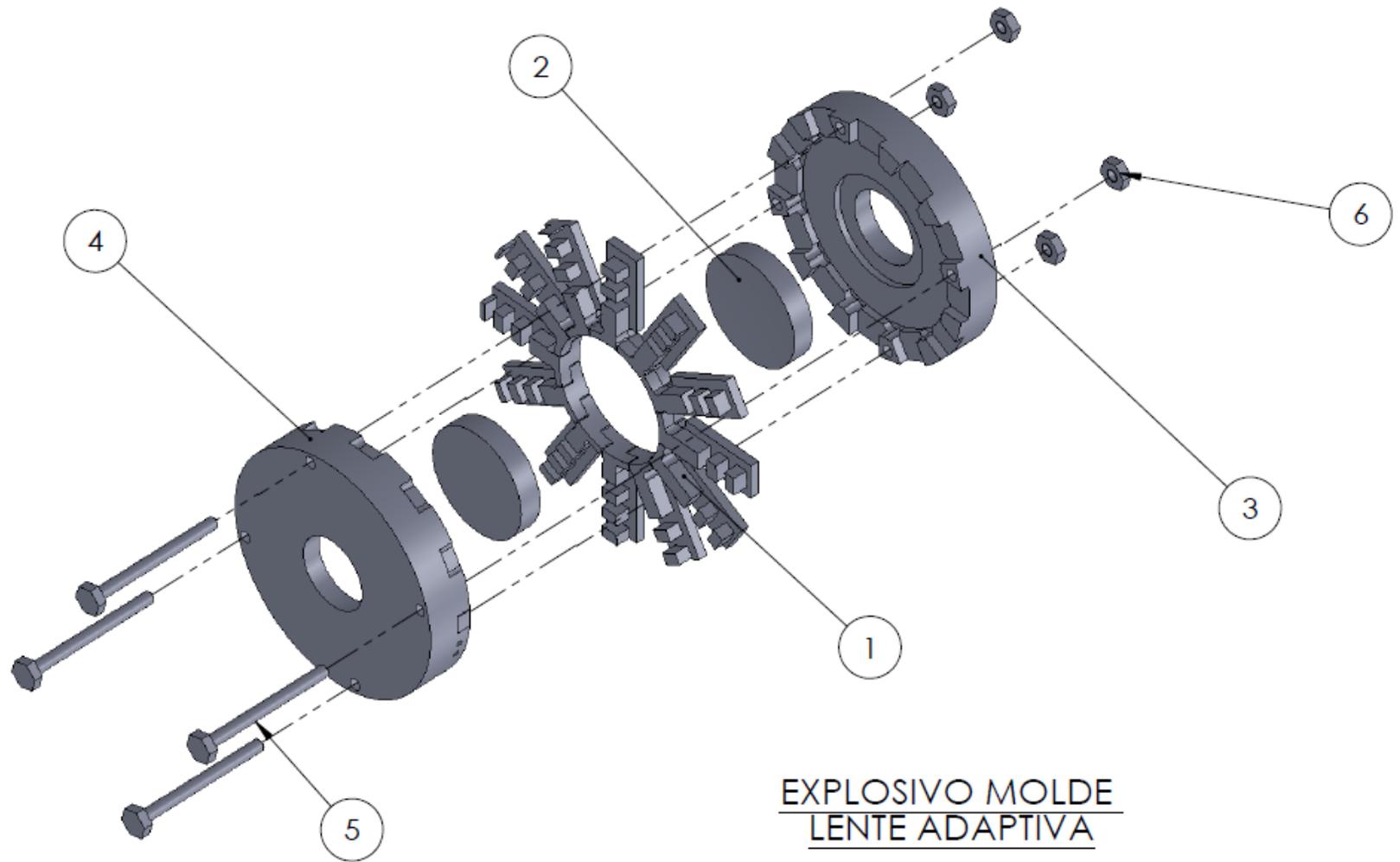
PLANO No.

PL-09

TÍTULO:
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011 ACOTACIÓN: mm. ESCALA: 1 : 1 TOLERANCIA: +- 0.05 SISTEMA: HOJA: 9 DE 14

DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES REVISÓ: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA



**EXPLOSIVO MOLDE
LENTE ADAPTATIVA**

No. COMP.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	DIMENSION 1 MILIMETROS	DIMENSION 2 MILIMETROS
1	MORDAZAS (A-L) LENTE ADAPTATIVA	ALUMINIO	12	27.91	13.8
2	LENTE SUPERFICIE ADAPTATIVA	VIDRIO OPTICO	2	PROF:6	D:30.1
3	MOLDE DERECHO	ACRILICO 3/4 PLG 1.22X2.44	1	66.42	11.25
4	MOLDE IZQUIERDO	ACRILICO 3/4 PLG 1.22X2.44	1	66.42	12.75
5	TORNILLO GUIA	TOR HEX NC 1/8 PLG X 1 1/2 PLG	4	ACCESORIO	
6	TUERCA TORNILLO GUIA	TUER HEX NC 1/8	4	ACCESORIO	



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

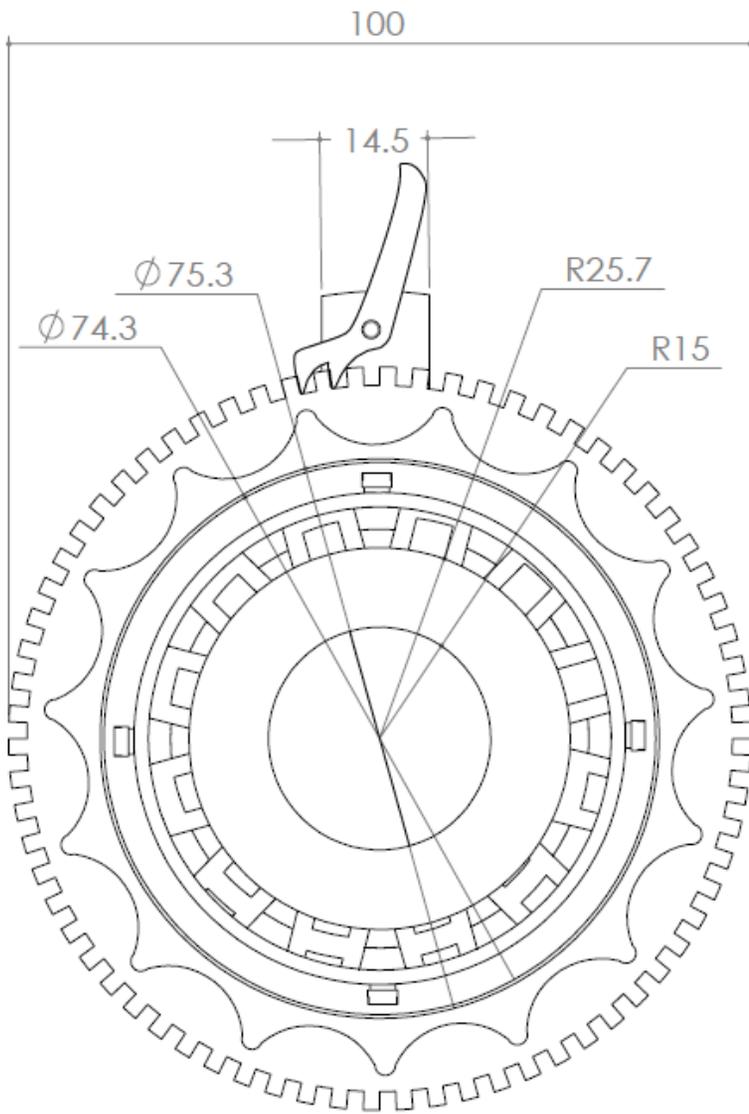
PLANO No.

PL-10

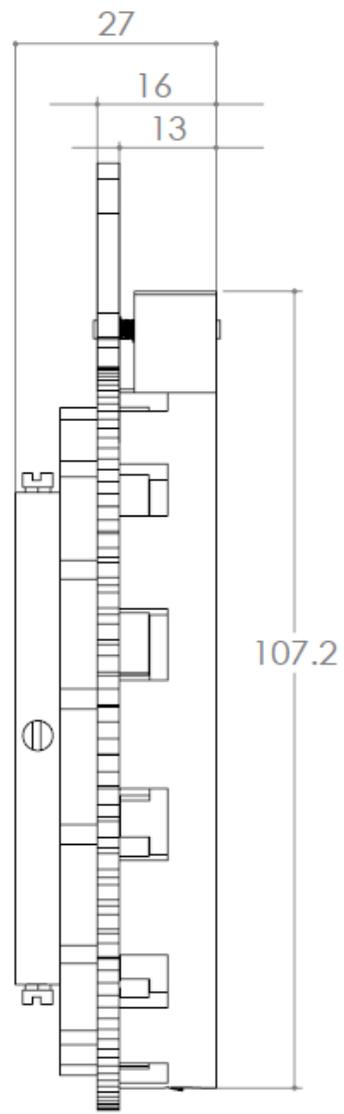
TÍTULO:
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

FECHA DE ELABORACIÓN ACOTACIÓN: ESCALA: TOLERANCIA: SISTEMA: HOJA:
29/06/2011 mm. SIN ESCALA +- 0.05 10 DE 14

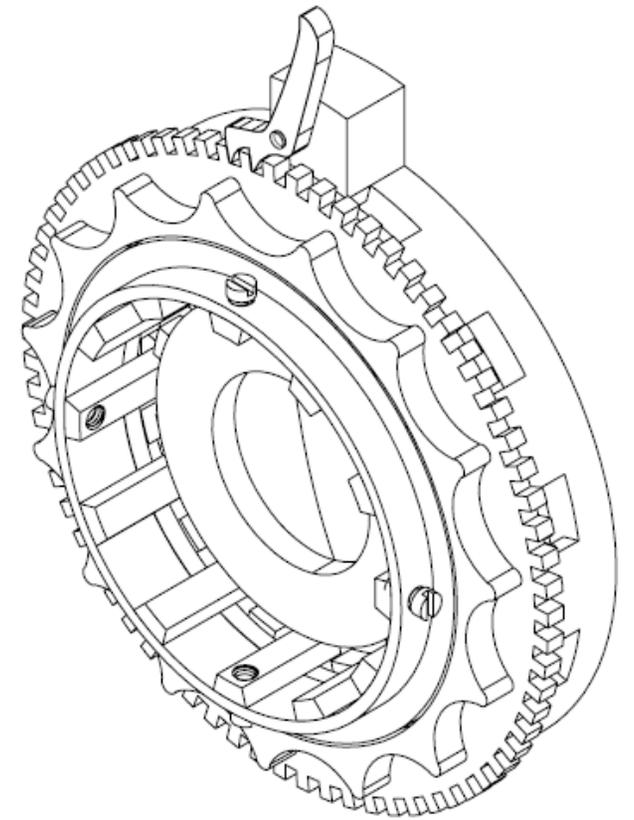
DIBUJO: REVISO: APROBO:
VICTOR CASTILLEJOS REYES FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ JORGE GONZÁLEZ GARCÍA



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO



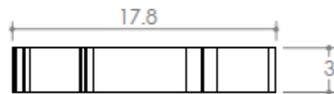
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PLANO No.

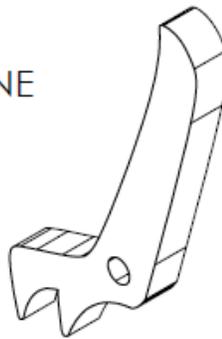
PL-11

PROYECTO		TÍTULO: ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA				
FECHA DE ELABORACIÓN	ACOTACIÓN:	ESCALA:	TOLERANCIA:	SISTEMA:	HOJA:	
29/06/2011	mm.	1:1	+/- 0.05		11 DE 14	
DIBUJO:		REVISO:	APROBO:			
VICTOR CASTILLEJOS REYES		FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	JORGE GONZÁLEZ GARCÍA			

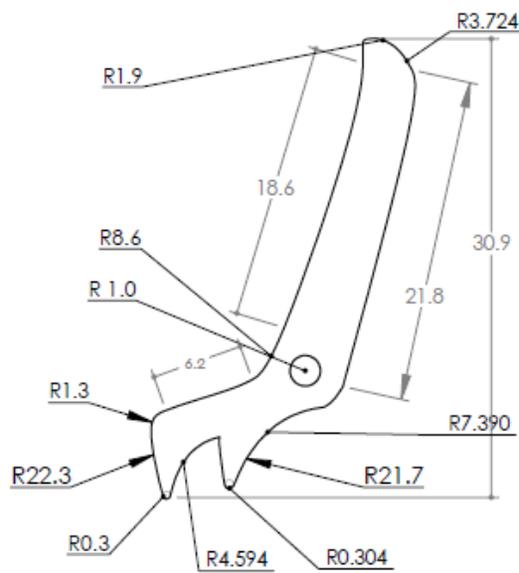
SEGURO PARA ENGRANE



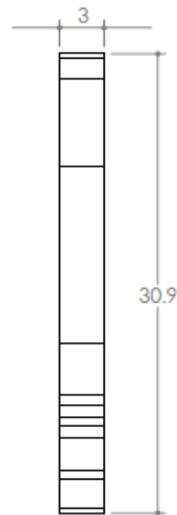
VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

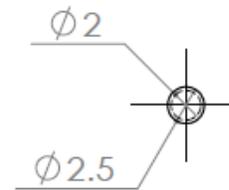


VISTA FRONTAL

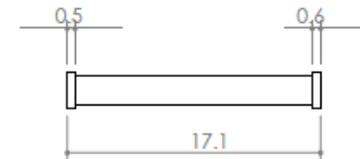


VISTA LATERAL

PERNO PARA SEGURO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ISOMÉTRICO

PIEZA 7

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	PLANEADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT HSS 4G 1/2 PLG	2500	aprox 6300	min 0.4
2	ESCUADRADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/8 PLG	2500	aprox 45000	min 0.4
3	RANURADO	FRES CNC DYNA EM 3116	CORT VERT CARB 2G 1/16 PLG	2500	aprox 22500	min 0.4



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PLANO No.

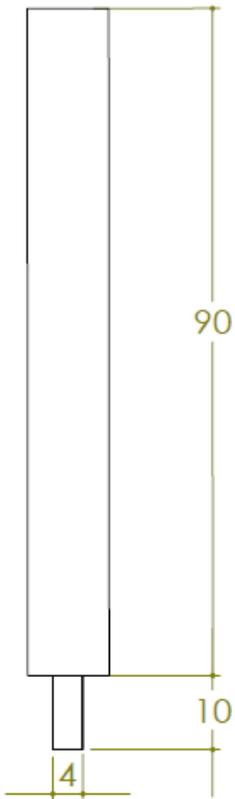
PL-12

TÍTULO:

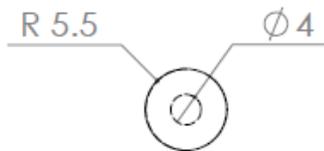
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

FECHA DE ELABORACIÓN ACOTACIÓN: ESCALA: TOLERANCIA: SISTEMA: HOJA:
29/06/2011 mm. 2:1 +- 0.05 12 DE 14

DIBUJO: REVISO: APROBO:
VICTOR CASTILLEJOS REYES FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ JORGE GONZÁLEZ GARCÍA

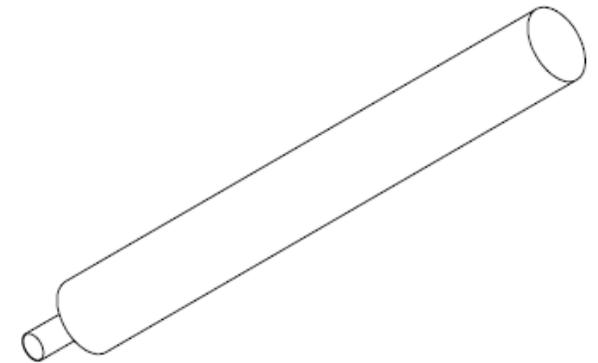


VISTA SUPERIOR

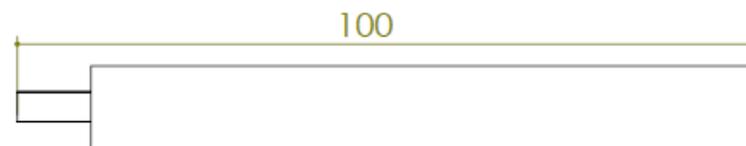


VISTA FRONTAL

No.	OPERACIÓN	MAQUINA	HERRAMIENTA	RPM	AVA (mm/min o mm)	PROF.
1	REFRENTADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 1	375	0.13 - 0.3	0.13 - 1
2	CILINDRADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 1	375	0.13 - 0.3	0.13 - 1
	ROSCADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 1	70	PASO	
3	TRONZADO	TORNO ILSA TR 1000 EX	BURIL 4	125		VAR

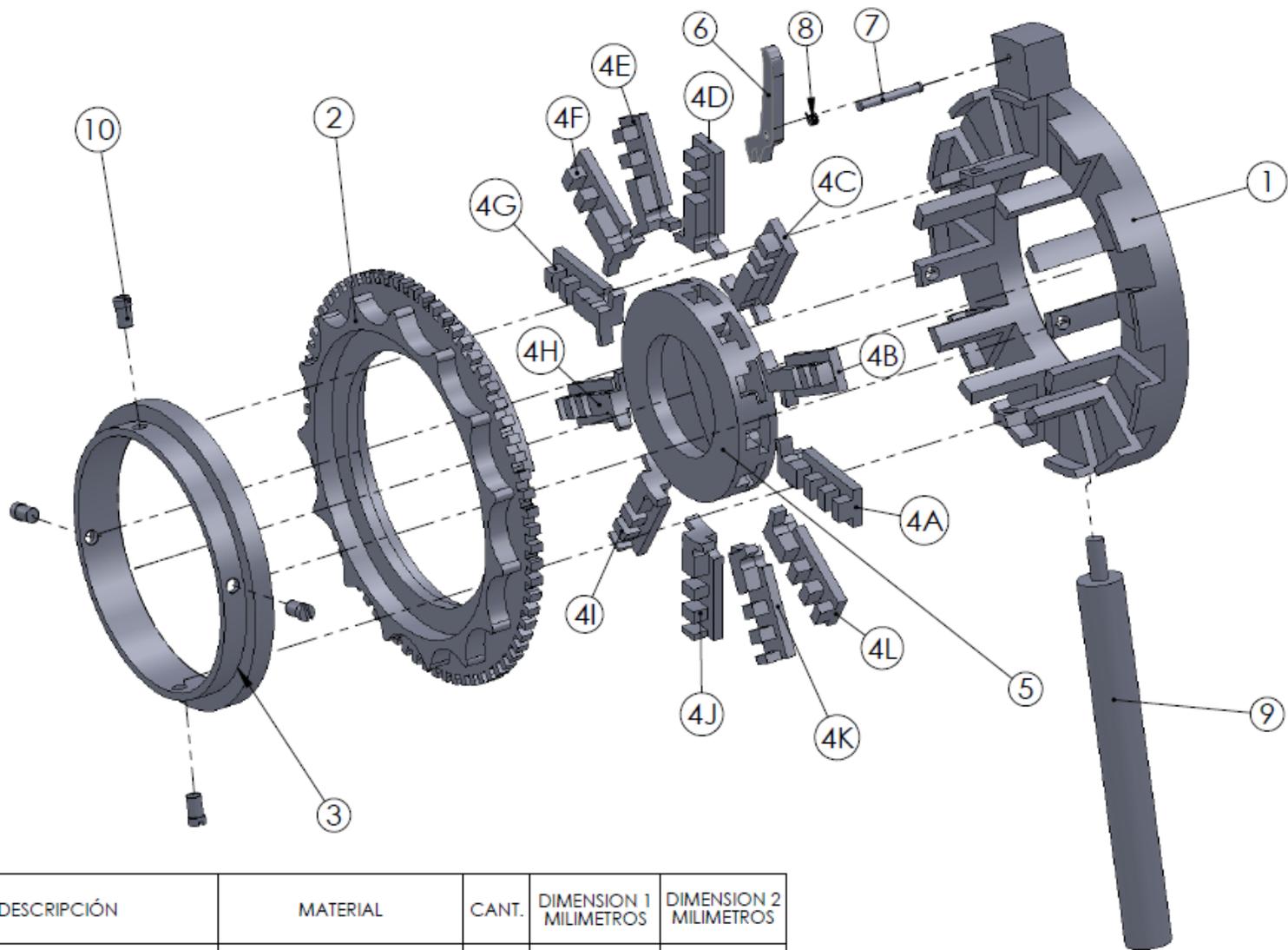


ISOMÉTRICO



VISTA LATERAL

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA				PLANO No. PL-13	
PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA					
TÍTULO: ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA	FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011	ACOTACIÓN: mm.	ESCALA: 1 : 1	TOLERANCIA: +- 0.05	SISTEMA: 
DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES	REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA	HOJA: 13 DE 14		



No. COMP.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	DIMENSION 1 MILIMETROS	DIMENSION 2 MILIMETROS
1	BASE GUIA PARA MORDAZA	AL 6061 T6 DIAM 120mm	1	94	27
2	ENGRANE CON ESPIRAL Y APOYO PARA DEDOS	AL 6061 T6 DIAM 4 PLG	1	100	12
3	ARO CONTENEDOR DEL SISTEMA	AL 6061 T6 DIAM 4 PLG	1	74.3	11
4	MORDAZAS (A-L) LENTE ADAPTATIVA	AL 6061 T6 DIAM 115mm	12	27.91	13.8
5	LENTE ADAPTATIVA	SILICÓN ELASTOMERO SYLGARD 184	1	51.4	10.5
6	SEGURO PARA FIJAR ENGRANE	AL 6061 T6	1	30.9	17.8
7	PERNO PARA SEGURO	ACERO INOX AISI 410	1	ACCESORIO	
8	RESORTE PARA SEGURO		1	ACCESORIO	
9	MANGO PARA BASE		1	ACCESORIO	
10	TORNILLO ARO-BASE GUIA	TOR PLANO NC 1/8 PLG X 1/4 PLG	4	ACCESORIO	



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE LA MIXTECA

PLANO No.

PL-14

TÍTULO:
ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA

PROYECTO

FECHA DE ELABORACIÓN: 29/06/2011

ACOTACIÓN: mm.

ESCALA: SIN ESCALA

TOLERANCIA: +- 0.05

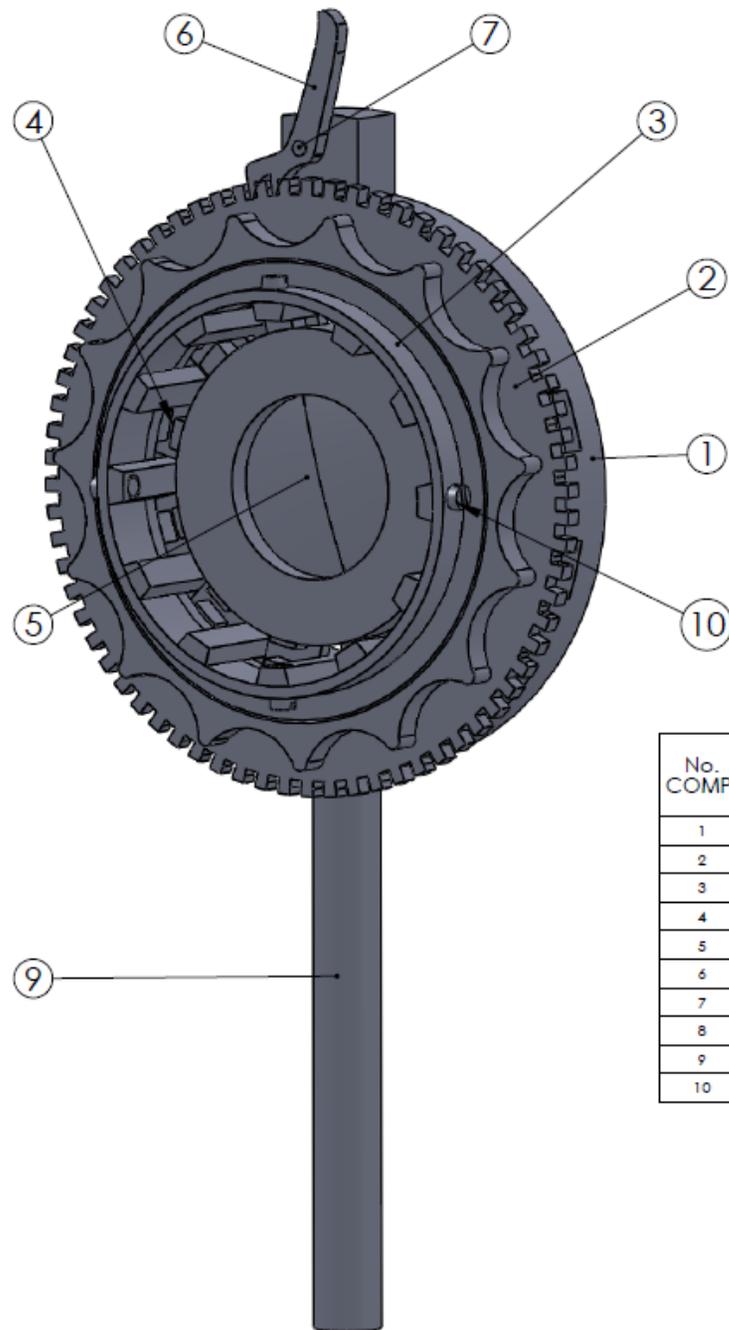
SISTEMA:

HOJA: 14 DE 14

DIBUJO: VICTOR CASTILLEJOS REYES

REVISO: FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ

APROBO: JORGE GONZÁLEZ GARCÍA



ISOMÉTRICO

*** NOTAS GENERALES ***

- ELIMINAR FILOS CORTANTES Y REBABAS
- LAS DIMENSIONES DE ESTE PLANO SON NOMINALES
- TODAS LAS PIEZAS TORNEADAS CON CILINDRADO INTERIOS ANTES DEBEN DE SER PREPARADOS TALADRANDO EN EL TORNO CON UNA BROCA DE CENTRO Y DESPUES CON UNA BROCA DE 3/4 PLG O 1 PLG SEGUN SEA EL CASO. LAS REV. DEBEN SER DE 1500 PARA BROCA DE 1/2 PLG Y 700 PARA BROCA DE 3/4 PLG. Y UN AVANCE DE 270-500mm/min (3/4) PARA EL USO DEL TORNO ILSA TR1000 EX.

No. COMP.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	DIMENSION 1 MILIMETROS	DIMENSION 2 MILIMETROS
1	BASE GUIA PARA MORDAZA	AL 6061 T6 DIAM 120mm	1	94	27
2	ENGRANE CON ESPIRAL Y APOYO PARA DEDOS	AL 6061 T6 DIAM 4 PLG	1	100	12
3	ARO CONTENEDOR DEL SISTEMA	AL 6061 T6 DIAM 4 PLG	1	74.3	11
4	MORDAZAS (A-L) LENTE ADAPTATIVA	AL 6061 T6 DIAM 115mm	12	27.91	13.8
5	LENTE ADAPTATIVA	SILICÓN ELASTOMERO SYLGARD 184	1	51.4	10.5
6	SEGURO PARA FIJAR ENGRANE	AL 6061 T6	1	30.9	17.8
7	PERNO PARA SEGURO	ACERO INOX AISI 410	1	ACCESORIO	
8	RESORTE PARA SEGURO		1	ACCESORIO	
9	MANGO PARA BASE		1	ACCESORIO	
10	TORNILLO ARO-BASE GUIA	TOR PLANO NC 1/8 PLG X 1/4 PLG	4	ACCESORIO	



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

PLANO No.

PL-15

TÍTULO:		PROYECTO ANÁLISIS DE INGENIERIA A UNA MONTURA MECÁNICA			
FECHA DE ELABORACIÓN:	ACOTACIÓN:	ESCALA:	TOLERANCIA:	SISTEMA:	HOJA:
29/06/2011	mm.	SIN ESCALA	+ - 0.05		1 DE 1
DIBUJO:		REVISO:	APROBO:		
VICTOR CASTILLEJOS REYES		FERNANDO ITURBIDE JIMENEZ	JORGE GONZÁLEZ GARCÍA		