



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño, manufactura, integración y pruebas de
un interferómetro de alta resolución para el
Observatorio Astronómico Nacional en
Tonantzintla, Puebla**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Fernando David Zuñiga Contreras

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Alejandro Farah Simón



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi madre, por apoyarme en mis decisiones desde el comienzo, te agradezco la confianza, comprensión y amor que me has brindado a lo largo de mi vida. Gracias por ser un gran ejemplo en vida, por enseñarme a ser perseverante en las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, por contar con su apoyo a lo largo de mi carrera, así como por sus consejos y el poder contar con ustedes en las buenas y en las malas.

A mis abuelos, por la confianza que han depositado en mí y por estar conmigo alentándome a ser una mejor persona.

A Brenda Arcos que me apoyaste durante la realización de mi proyecto de tesis, apoyándome con tus consejos y animándome en todo momento.

A mi director de tesis Dr. Alejandro Farah Simón, gracias por su apoyo, confianza y consejos que me brindó a lo largo del proyecto y realización de esta tesis

Al Dr. Valeri Orlov, gracias por la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, por la atención hacia mí y el poder realizar observaciones astronómicas en el telescopio de Tonantzintla Puebla.

Al Ingeniero Jaime Ruíz Díaz, por sus consejos y sugerencias para realizar planos de ingeniería.

Al personal del taller mecánico del Instituto de astronomía por permitirme estar ahí y mostrarme el proceso de manufactura, así como por su disposición a resolver mis dudas.

Al PAPIIT IN107818, por los recursos económicos proporcionados, que hicieron posibles, fabricación del instrumento, las noches de observación en el OAN de Tonantzintla, Puebla y la beca durante mi participación en el proyecto.

Resumen

En el estudio de la astronomía existen factores que complican las observaciones astronómicas, uno de ellos es la turbulencia atmosférica, esto es debido a que la luz emitida por un cuerpo celeste se refracta al pasar por la atmósfera terrestre impidiendo obtener imágenes de alta calidad. En el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) se han desarrollado una serie de instrumentos de alta resolución para mejorar estos efectos y lograr obtener estudios científicos. El principio básico empleado es conocido como interferometría de motas, el cual consiste en adquirir un conjunto de imágenes de exposición corta a través de diferentes filtros de un objeto astronómico de interés. Las imágenes son procesadas para remover las perturbaciones ocasionadas por la atmósfera y las creadas por el instrumento.

En este trabajo se presenta el diseño de un interferómetro de motas, para la detección de estrellas binarias, mostrando, cálculos analíticos, simulaciones hechas por el método de elementos finitos a través del software SolidWorks, como fue el proceso de manufactura del instrumento, su ensamble, pruebas e integración al telescopio de clase de 1 metro del Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla, Puebla, dichas pruebas realizadas el 19-21 de noviembre del 2019, donde después de hacer el análisis de datos se obtuvo imágenes de la estrella binaria WDS 21441+2845.

Índice

Resumen	ii
Lista de Tablas	v
Lista de figuras	vi
Introducción	viii
Capítulo 1 Marco Teórico	1
1.1. Antecedentes o estado de arte	1
1.2. Astronomía en México	3
1.3. Telescopios	6
1.4. Telescopio de Tonantzintla	9
1.5. Interferometría	12
1.6. Interferometría de motas	14
1.7. Estrellas	15
1.8. Estrellas binarias	16
1.9. Clasificación espectral	18
1.10. Protección interna para evitar reflejos; anodizado	19
Capítulo 2 Diseño y manufactura	21
2.1. Necesidades del cliente	21
2.2. Definición del problema	21
2.3. Pregunta de Investigación	22
2.4. Objetivo	22
2.5. Especificaciones y requerimientos	22
2.6. Condiciones generales	23
2.7. Diseño	25
2.7.1. Estructura mecánica	26
2.7.2. Movimiento del objetivo	27
2.7.3. Acoplador de cámara y rueda de filtros	28
2.8. Selección de materiales	31
2.9. Mecánica analítica	32
2.10. Análisis por elementos finitos	40
2.10.1. Caso 1	43

2.10.2. Caso 2	44
2.10.3. Caso 3	47
2.11. Manufactura del prototipo	49
2.12. Diseño de detalle.....	51
Capítulo 3 Ensamble e integración	53
3.1. Ensamble mecánico	53
3.1.1. Subensamble 1	54
3.1.2. Subensamble 2	55
3.1.3. Subensamble 3	56
3.1.4. Ensamble Final	57
3.2. Integración en el telescopio.....	60
3.3. Instrumento Tohtli	62
Capítulo 4 Pruebas y Resultados	63
4.1. Diseño asistido por computadora.....	63
4.2. Peso del prototipo	64
4.3. Requerimientos.....	65
4.4. Costos	66
4.5. Pruebas realizadas.....	67
4.6. Observaciones realizadas en el telescopio	69
Capítulo 5 Conclusiones.....	72
5.1. Perspectivas a futuro.....	72
5.2. Conclusiones	73
Bibliografía	75
Anexo 1.....	77
Anexo 2.....	102

Lista de Tablas

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DE TELESCOPIO DE TONANTZINTLA [7].....	11
TABLA 1.2 FILTROS EN EL TELESCOPIO [7].	12
TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RUEDA DE FILTROS [23].....	30
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA IXON 888.....	30
TABLA 2.3 MOMENTOS DE INERCIA DE LA SECCIÓN TRASVERSAL.....	39
TABLA 2.4 ESFUERZO EN EL CASO A 90 GRADOS.....	44
TABLA 2.5 DESPLAZAMIENTO EN EL CASO A 90 GRADOS.....	44
TABLA 2.6 ESFUERZO EN EL CASO A 0 GRADOS.....	45
TABLA 2.7 DESPLAZAMIENTO EN EL CASO A 0 GRADOS.....	46
TABLA 2.8 ESFUERZO EN EL CASO A 45 GRADOS.....	47
TABLA 2.9 DESPLAZAMIENTO EN EL CASO A 45 GRADOS.....	48
TABLA 3.1 COMPONENTES.....	53
TABLA 4.1 PESO DE TOHTLI.....	64
TABLA 4.2 CUMPLIMIENTOS DE LOS REQUERIMIENTOS.....	65
TABLA 4.3 COSTOS DE MANUFACTURA.....	66

Lista de figuras

FIGURA 1.1 INSTRUMENTO TOHTLI DESARROLLADO EN 2007 [1].	2
FIGURA 1.2 INTERFERÓMETRO TOHTLI DESARROLLADO EN 2011. [2].	2
FIGURA 1.3 DISEÑO MECÁNICO DE BERKUT 2014. [3].	3
FIGURA 1.4 OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (1860-1977) [5].	5
FIGURA 1.5 FOTO DEL OAN TNT.	5
FIGURA 1.6 OAN EN SAN PEDRO MÁRTIR [8].	6
FIGURA 1.7 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN TELESCOPIO [10].	6
FIGURA 1.8 COMPORTAMIENTO DE LA LUZ [10].	7
FIGURA 1.9 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ [11].	7
FIGURA 1.10 PARTES DE UN TELESCOPIO REFRACTOR TIPO KEPLER [9].	8
FIGURA 1.11 TELESCOPIO REFRACTOR Y TELESCOPIO REFLECTOR TIPO NEWTON [9].	9
FIGURA 1.12 TELESCOPIO DE 1 METRO TONANTZINTLA, PUEBLA.	10
FIGURA 1.13 EL EXPERIMENTO DE YOUNG [12].	13
FIGURA 1.14 INTERFERÓMETRO DE MICHELSON [12].	13
FIGURA 1.15 ESTRELLA BINARIA ALBIREO [17].	17
FIGURA 1.16 PROCESO DE ANODIZADO [21].	19
FIGURA 1.17 ZONA DE ANODIZADO.	20
FIGURA 2.1 DATOS DE PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES EN 2019 [22].	24
FIGURA 2.2 DIRECCIÓN DE VIENTO EN EL 2019 [22].	25
FIGURA 2.3 DISEÑO DE TOHTLI.	27
FIGURA 2.4 DISEÑO DE MECANISMO DE MOVIMIENTO DEL OBJETIVO.	28
FIGURA 2.5 ACOPLADO DE CÁMARA IXON Y RUEDA DE FILTROS A TOHTLI.	29
FIGURA 2.6 RUEDA DE FILTROS FLI.	29
FIGURA 2.7 CÁMARA ANDOR IXON 888.	31
FIGURA 2.8 VIGA EN VOLADIZO TOHTLI.	32
FIGURA 2.9 CENTRO DE MASA TOHTLI.	33
FIGURA 2.10 SIMPLIFICACIÓN CARGA DISTRIBUIDA.	34
FIGURA 2.11 CORTE DE LA VIGA.	35
FIGURA 2.12 SIMPLIFICACIÓN DE CARGA DISTRIBUIDA EN CARGA PUNTAL.	36
FIGURA 2.13 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.	38
FIGURA 2.14 DIAGRAMA FUERZA CORTANTE.	38
FIGURA 2.15 SIMPLIFICACIÓN PERFIL DE TOHTLI.	39
FIGURA 2.16 MALLADO DEL INSTRUMENTO COMPLETO.	41
FIGURA 2.17 MALLADO DE CURVATURA EN BARRENOS.	42
FIGURA 2.18 SUJECIÓN DE TOHTLI PARA FEA.	42
FIGURA 2.19 ESTADO DE ESFUERZOS POR INCLINACIÓN DE 90 GRADOS.	43
FIGURA 2.20 ESTADO DE ESFUERZOS POR INCLINACIÓN DE 0 GRADOS.	45
FIGURA 2.21 DESPLAZAMIENTOS POR INCLINACIÓN DE 0 GRADOS.	46
FIGURA 2.22 ESTADO DE ESFUERZOS POR INCLINACIÓN DE 45 GRADOS.	47
FIGURA 2.23 DESPLAZAMIENTOS POR INCLINACIÓN DE 45 GRADOS.	48
FIGURA 2.24 PIEZAS DE TOHTLI.	50
FIGURA 2.25 PIEZAS TOHTLI ANODIZADO.	51
FIGURA 2.26 INSTRUMENTO TOHTLI.	52

FIGURA 2.27 INSTRUMENTO TOHTLI CON GAVETAS ABIERTAS.	52
FIGURA 3.1 EXPLOSION DE SUBENSAMBLE 1.	54
FIGURA 3.2 SUBENSAMBLE 1.	55
FIGURA 3.3 EXPLOSIÓN SUBENSAMBLE 2.	55
FIGURA 3.4 SUBENSAMBLE 2.	56
FIGURA 3.5 EXPLOSIÓN DEL SUBENSAMBLE 3.	56
FIGURA 3.6 SUBENSAMBLE 3.	57
FIGURA 3.7 TOHTLI ENSAMBLE.	57
FIGURA 3.8 INTERIOR DEL INSTRUMENTO TOHTLI.	58
FIGURA 3.9 INTERIOR DE INSTRUMENTO TOHTLI 2.	59
FIGURA 3.10 INTERIOR DE INSTRUMENTO TOHTLI 2.	59
FIGURA 3.11 INSTRUMENTO TOHTLI ACOPLADO EN EL TELESCOPIO.	60
FIGURA 3.12 COMPONENTES PARA USO DEL INSTRUMENTO.	61
FIGURA 3.13 INSTRUMENTO TOHTLI ANODIZADO.	62
FIGURA 3.14 INSTRUMENTO TOHTLI ANODIZADO 2.	62
FIGURA 4.1 INSTRUMENTO TOHTLI RENDERIZADO.	63
FIGURA 4.2 TELESCOPIO 1 M Y EL INSTRUMENTO TOHTLI.	68
FIGURA 4.3 TOMA DE ESTRELLA BINARIA WDS 21441+2845.	69
FIGURA 4.4 SUMA DE 2000 IMÁGENES.	70
FIGURA 4.5 ESPECTRO DE POTENCIA.	70
FIGURA 4.6 IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN.	71
FIGURA 5.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE OBJETIVO.	72

Introducción

En el estudio astronómico de cuerpos celestes, existen factores que influyen en las observaciones; uno de estos es la atmósfera lo que ocasiona turbulencia en las imágenes captadas a través de telescopios terrestres, lo que conlleva a utilizar diferentes métodos de observación como es el de interferometría de motas, el cual disminuye esta interferencia astronómica permitiendo obtener imágenes de alta calidad. En el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México se ha desarrollado un instrumento denominado Tohtli, el cual utiliza la técnica de interferometría de motas para corregir los efectos causados por la atmósfera.

Esta tesis presenta el diseño de un instrumento el cual ya cuenta con antecedentes, en el que se han analizado las características para incorporar mejoras y dar como resultado una nueva versión, para ser utilizado en el telescopio de 1 metro del Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla, Puebla.

El instrumento Tohtli fue diseñado para tomar imágenes de alta resolución, el cual consta de soportes optomecánicos para alinear; una rueda de filtros, un objetivo óptico, una cámara y el foco del telescopio de clase 1 metro.

El contenido de este trabajo presenta la información sobre el diseño, manufactura, pruebas e integración del instrumento a continuación, se muestra el contenido del trabajo:

En el capítulo 1, se presentan los principios teóricos en el instrumento Tohtli, mostrando los antecedentes de la astronomía en México, tipos de telescopios, clasificación de las estrellas, la técnica de interferometría de motas y el proceso de anodizado de aluminio.

En el capítulo 2, se presentan las condiciones en Tonantzintla, especificaciones, definición del problema, el diseño del instrumento, selección de material, los cálculos analíticos, así como las simulaciones realizadas por el método de elementos finitos en el software SolidWorks, como fue el proceso de manufactura.

En el capítulo 3, se explica cómo se realiza el ensamblaje de la estructura, así como la integración al telescopio, explicando a detalle este proceso.

En el capítulo 4, se abordan las pruebas que se realizaron en los días 19 al 21 de noviembre del 2019, así como los resultados del trabajo constan del peso de la estructura, cumplimiento de requerimientos, costos y observaciones obtenidas.

En el capítulo 5 se hace un recuento de los resultados obtenidos, llegando a la conclusión del trabajo y presentando las perspectivas a futuro del instrumento.

Finalmente se presentan los Anexos, que son los planos de manufactura de cada pieza que conforman al proyecto Tohtli, así como el manual de ensamble del instrumento.

Capítulo 1 Marco Teórico

En este capítulo se tratan los antecedentes de los instrumentos desarrollados anteriormente en el IA-UNAM, así como explicar en qué consiste la interferometría de motas, la física de la luz, qué es una estrella doble, un telescopio, en qué consiste el proceso de anodizado de aluminio y las protecciones internas para evitar la luz no deseada dentro del instrumento.

1.1. Antecedentes o estado de arte

Para realizar observaciones astronómicas, es indispensable la calidad de las imágenes. Existen algunos factores naturales o técnicos que degradan dichas imágenes, como son la turbulencia atmosférica, la calidad del espejo del telescopio, de la óptica de los instrumentos, errores de posicionado, etcétera. Existen diversas técnicas para disminuir la mayor cantidad de errores posibles, uno de ellos es el método de interferometría de motas, el cual minimiza la distorsión de las imágenes causada por la turbulencia atmosférica y por las deformaciones causadas por la gravedad y los cambios de temperatura.

En el IA-UNAM ya se han desarrollado tres prototipos fabricados para la aplicación del método de interferometría de motas, estos prototipos sirvieron para generar especificaciones y diversas consideraciones, así como para realizar mejoras en el diseño. Esta tesis retoma las ideas generadas en dichos instrumentos para desarrollar uno nuevo optimizado.

El primer prototipo fue realizado por Ares Argelia Gómez, quien elaboró la tesis de licenciatura “Diseño y Manufactura en Instrumentación Astronómica: Interferometría de Motas” en el año 2007. Dicho instrumento se muestra en la Figura 1.1. Éste fue probado en el telescopio de 1 metro en el OAN Tonantzintla, Puebla. El instrumento tuvo un peso de 16 kg, la estructura principal fue realizada de aluminio 6061-T4 [1].

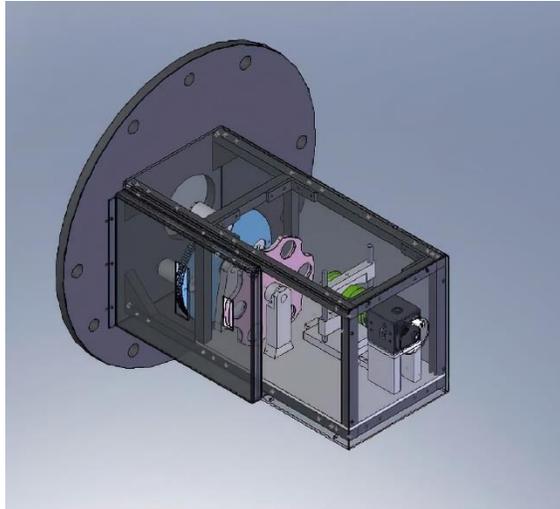


Figura 1.1 Instrumento Tohtli desarrollado en 2007 [1].

El segundo prototipo fue llamado Tohtli, el cual lo desarrollo Ricardo Arturo Vázquez Robledo, quien elaboró una tesis para optar el grado de maestro en ingeniería titulada: “Reingeniería, manufactura y pruebas de aceptación del instrumento de interferometría de motas, Tohtli, para el Observatorio Astronómico Nacional”. Este instrumento fue desarrollado en el 2011, siendo probado en el Telescopio de 2.12 metros en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir. El material empleado fue aluminio 6061-T6, el instrumento tiene un peso aproximado de 3.1 kg. [2]



Figura 1.2 Interferómetro Tohtli desarrollado en 2011. [2]

El tercer y último prototipo fue denominado Berkut, el cual fue diseñado por Ricardo Granados Alfaro, quien realizó una tesis para optar por el grado de maestría titulada: “Diseño Optomecatrónico e Integración del Interferómetro de motas Berkut a telescopios de clase de 1 metro”, El peso de la estructura mecánica fue de 4.5 kg y contemplando todos los elementos fue de 7.7 kg. El material empleado en el instrumento Berkut fue aluminio. [3]

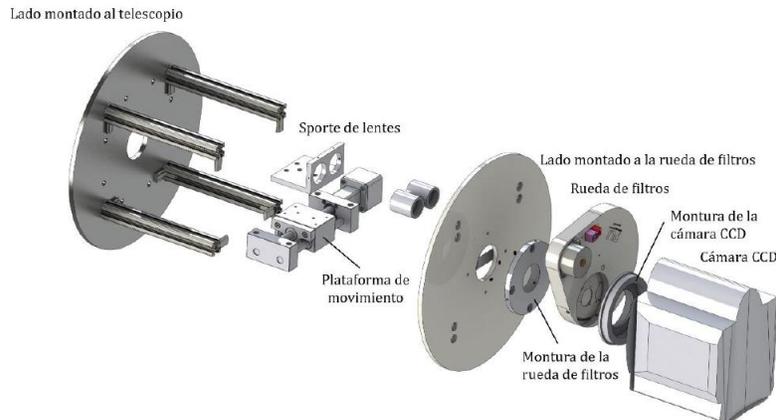


Figura 1.3 Diseño mecánico de Berkut 2014. [3]

El cuarto instrumento, el cual es presentado en esta tesis, fue elaborado para que éste se encuentre en el Observatorio Astronómico Nacional ubicado en Tonantzintla Puebla; además de realizarle diversas modificaciones con respecto a los instrumentos anteriores, como son la forma de colocar la rueda de Filtros y proporcionarle mayor rigidez estructural.

1.2. Astronomía en México

La astronomía es una de las primeras ciencias practicadas por la humanidad, de acuerdo con la real academia española la astronómica significa “Ciencia que trata de los astros, de su movimiento y de las leyes que lo rigen”. Dicha ciencia tiene como objetivo primordial explicar la evolución de los astros y del Cosmos.

La astronomía en México ha estado presente siempre en la cultura de los mexicanos desde la época prehispánica. En el estudio de los ciclos de los astros era realizado por los sacerdotes. La astronomía comenzó formalmente en 1540 cuando Agustino Alonso de la Veracruz

comenzó a explicar conceptos astronómicos, posteriormente formó parte de los primeros profesores de la Real Universidad de México en 1557. En este año publicó un libro con cuestiones de física aristotélica, cuyo apéndice tenía un texto de astronomía geocéntrica escrito en el siglo XIII por Giovanni Campano de Novara. Este texto fue el primer libro astronómico publicado en América [4].

Hasta 1637 se abrió la cátedra de Astronomía y Matemáticas en la Real y Pontificia Universidad de México. El profesor fue el religioso mercedario Diego Rodríguez, quien la impartió por más de 30 años. En 1690 Carlos de Sigüenza y Góngora, también profesor de la cátedra de Astronomía y Matemáticas público en la ciudad de México su libro Astronómica y Filosófica, donde defendió la existencia de los cometas como cuerpos naturales basándose en los escritos de astrónomos como Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, y Galileo. Este personaje utilizó telescopios para realizar observaciones que resultaron de alta calidad y confiabilidad [4].

El astrónomo más importante del siglo XIX fue Francisco Diaz Covarrubias. El punto culminante de la astronomía mexicana de ese siglo fue la observación del tránsito de venus por el disco del Sol, en el año de 1874 en Yokohama, Japón, realizada precisamente por Díaz Covarrubias y su equipo de colaboradores. Además, en 1857 calculó con precisión el eclipse de sol del 25 de marzo, que se observó en la ciudad de México. Dicho eclipse no había sido predicho por los calendarios de la época. El éxito de la expedición a Japón permitió a Diaz Covarrubias impulsar la idea de reinstalar el observatorio astronómico en Chapultepec. Por decreto presidencial del 18 de diciembre de 1876, Porfirio Diaz creó el Observatorio Astronómico Nacional; además, nombra a Ángel Anguiano, discípulo de Diaz Covarrubias, director de éste. Posteriormente en 1878, se inaugura el Observatorio Astronómico Nacional en Chapultepec [4].

Las funciones del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) fueron de dos tipos: las propiamente astronómicas, que estaban fundamentalmente dirigidas al estudio y divulgación de la astronomía de posición las cuales consistían en observaciones de asteroides, cometas, planetas y eclipses, la segunda función eran una serie de servicios relacionados con la astronomía y las ciencias de la tierra como cartografía, geomagnetismo, climatología, con el paso de los años se fueron canalizando a otras instituciones. En 1881 se publicó el primer

Anuario del Observatorio Astronómico Nacional. En 1883 se traslada el Observatorio Astronómico Nacional al Palacio del ex Arzobispado de Tacubaya [4].

En 1908 se inaugura el nuevo edificio del Observatorio Astronómico Nacional en Tacubaya. En 1929 se expide el decreto de autonomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde se establece que el OAN pase a ser parte de esta casa de estudios. En 1948 Guillermo Haro fue nombrado director del OAN [4].



Figura 1.4 Observatorio Astronómico Nacional (1860-1977) [5].

En 1951 los telescopios del Observatorio de Tacubaya se mudan a un predio contiguo al del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla. Dicha mudanza fue necesaria debido a la contaminación producida por la iluminación artificial de la Ciudad de México. En 1967 se crea el Instituto de Astronomía de la UNAM, que incluye al OAN [6].



Figura 1.5 Foto del OAN TNT.

La etapa de consolidación de la astrofísica mexicana incluyó el desarrollo de los observatorios de San Pedro Mártir y Cananea; así como la internacionalización de la astronomía mexicana a partir del establecimiento de relaciones de trabajo con astrónomos de otros países y la utilización de mejores instrumentos astronómicos del mundo [7].

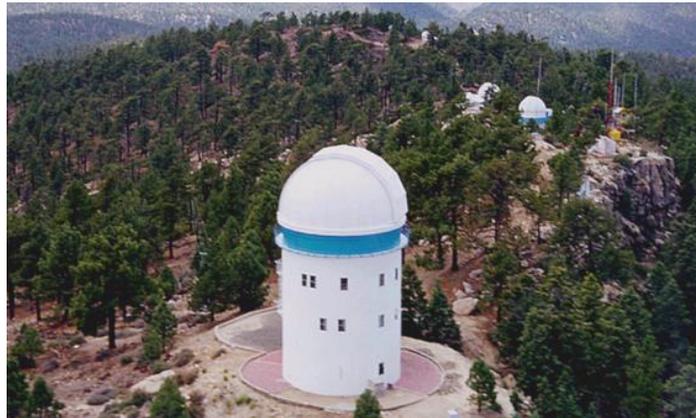


Figura 1.6 OAN en San Pedro Mártir [8].

1.3. Telescopios

La función principal de un telescopio es concentrar la luz en un punto y así poder amplificar la imagen con la calidad adecuada para que sea útil, la cantidad de luz concentrada es proporcional al diámetro del telescopio. Los objetos celestes estudiados a través de los telescopios son cuerpos situados más allá de la atmósfera, que emiten radiación electromagnética de diversas longitudes de onda [9].



Figura 1.7 Elementos que integran un telescopio [10].

La luz a través del espacio puede comportarse de dos formas, como frente de onda que se expande radialmente y concéntrica desde su fuente, o como rayos de luz perpendiculares a los frentes de onda que se extienden radialmente desde su fuente [10].

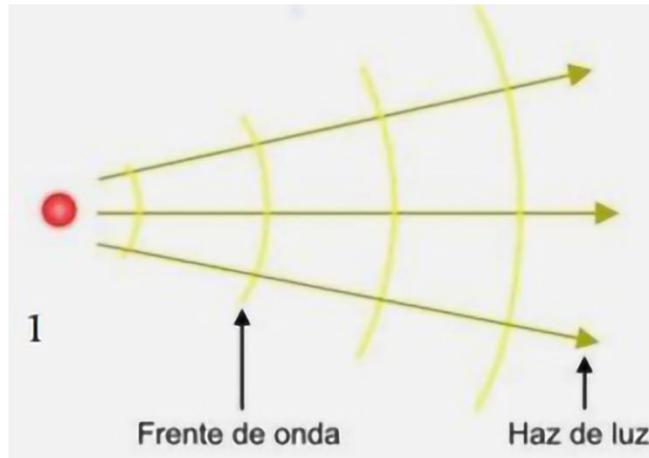


Figura 1.8 Comportamiento de la luz [10].

Otro concepto importante es la refracción que es cuando un haz de luz cambia de dirección debido a que incide sobre la superficie lisa de un material transparente. La reflexión es el comportamiento de la luz consistente en cambiar dirección cuando incide sobre un material liso y opaco [10]. (10)

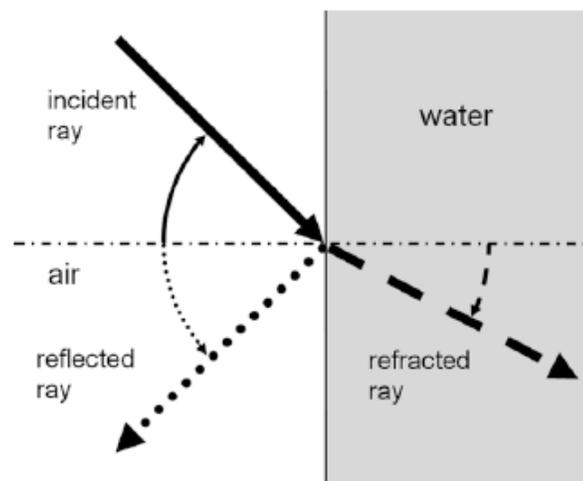


Figura 1.9 Reflexión y refracción de la luz [11].

Los telescopios se dividen en dos tipos refractores y reflectores, los refractores basan su funcionamiento en el uso de lentes convergentes exclusivamente, su componente principal se conoce como objetivo, este tipo de telescopios fueron los primeros en aparecer: el telescopio de Galileo y el telescopio de Kepler. Los telescopios reflectores utilizan espejos curvos para concentrar la luz, su componente principal se conoce como espejo primario, los cuales están situados en el fondo, estos espejos recogen y enfocan la luz, además el espejo más pequeño que hace converger la luz se conoce como secundario [10].

A continuación, se explica cómo funciona un telescopio refractor.

La apertura de un telescopio es el diámetro del haz de luz que entra en él y después llega al punto de observación también conocido como foco. La apertura normalmente del mismo diámetro que el objetivo o el espejo primario del telescopio. La distancia entre el espejo primario y su foco es conocida como distancia focal. Esto es determinado por la forma curva de las superficies ópticas [9].

La combinación de diferentes lentes es lo que permite la observación en los telescopios, dichos lentes son acoplados en elementos metálicos y son denominados oculares. La magnificación en los telescopios convencionales se da por la relación que existe entre la distancia focal y la distancia de su ocular. En la Fig. 1.10. se muestran las partes de un telescopio.

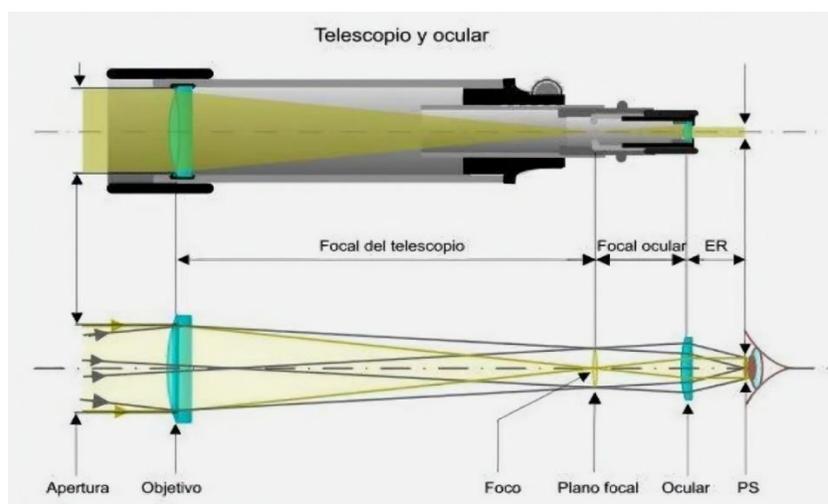


Figura 1.10 Partes de un telescopio refractor tipo Kepler [9].

- Objetivo: El lente o espejo principal del telescopio es el encargado de concentrar la luz.
- Ocular: Lente que amplía la imagen producida a través del objetivo
- Apertura: Diámetro del objetivo.
- Foco: Punto donde converge la luz.
- Plano focal: El área donde se forma la imagen
- Longitud focal: Distancia entre el centro del objetivo y el foco.

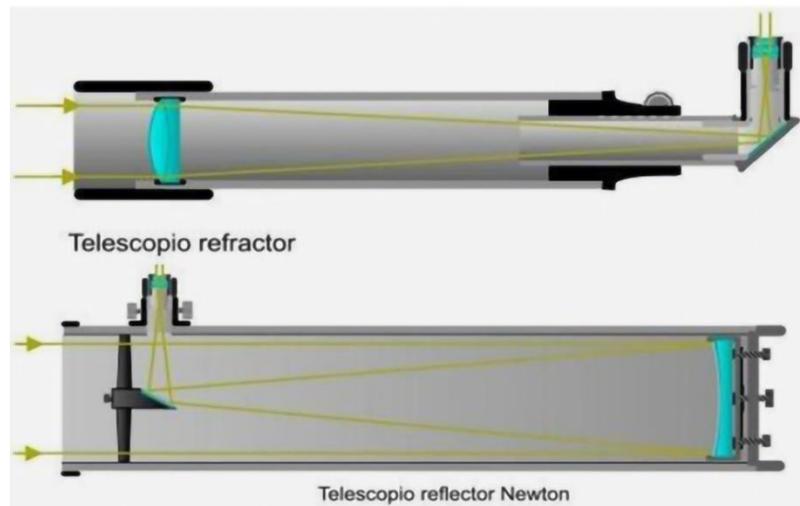


Figura 1.11 Telescopio refractor y Telescopio reflector tipo Newton [9].

Una de las limitaciones que presentan los telescopios es la fabricación de espejos grandes, como se mencionó con anterioridad a mayor área del espejo primario mayor concentración de luz hay por lo que da una mejor imagen, por el momento el espejo monolítico de mayor tamaño es de 8 metros. También existen telescopios que tienen espejos primarios compuestos por varios segmentos y que funcionan de manera conjugada formando una misma imagen.

1.4. Telescopio de Tonantzintla

Como se mencionó en la sección 1.2. hay un telescopio de 1 metro que se encuentra en Tonantzintla, Puebla. El lugar fue seleccionado en 1942, debido a que cumplía con las normas

de calidad, esto debido a su número de noches despejadas, así como la altura geográfica y su mínima incidencia lumínica de las poblaciones cercanas.

En sus inicios del telescopio fue equipado con una cámara Schmidt, esto permitió la entrada a la astronomía moderna en México, debido a que se realizaban estudios de espectrometría de objetos celestes. Gracias a esta cámara se hicieron una serie de descubrimientos como: los objetos Herbig-Haro, considerados como indicadores del inicio de la formación estelar, así como estrellas nova y supernova, galaxias azules, el cometa Haro-Chavira descubierto en 1954 [6].

En 1961 se inaugura el nuevo telescopio de 1 m de diámetro del Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla con el que se llevan a cabo observaciones astronómicas. Guillermo Haro decidió fundar el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), creado por decreto presidencial el 11 de noviembre de 1971 como organismo descentralizado, de interés público, con personalidad jurídica y patrimonio propio ubicado en Tonantzintla Puebla [6].



Figura 1.12 Telescopio de 1 metro Tonantzintla, Puebla.

Características del telescopio

En la tabla 1.1 se muestran las características del telescopio de Tonantzintla.

Tabla 1.1 Características de telescopio de Tonantzintla [7].

Diámetro del espejo primario	1000 mm
Sistema Completo	1997 mm
Distancia vértice-platina	1366 mm
Distancia platina-imagen	96.5+-42 mm
Distancia focal efectiva:	15240 mm
Relación focal	15.24
Distancia entre el espejo Primerio y Secundario	3691 mm
Escala de placa	13.53''/mm

Instrumentos en el telescopio

El telescopio cuenta actualmente con varios instrumentos para realizar observaciones o investigaciones científicas, los instrumentos con los que cuenta se muestran a continuación:

- Espectrógrafo Cassegrain (Boller & Chivens)
 - Rejillas de 400, 600 y 830 líneas/mm
 - Lámpara de comparación de He-Ar.
 - Cámara vieja del OMA adaptada al CCD-Mil da una resolución de 0.7 Angstroms/píxel con la rejilla de 600.
- CCD-Mil
 - Sistema marca Photometrics consiste en:
 - Tarjeta controlada de la cámara, se instala en el ducto de la PC486.
 - Control electrónico y térmico de la cámara, se instala en la platina del telescopio.
 - Criostato

- Interfaz de usuario, en ambiente Windows: PMIS

El detector Thomson de 1024X1024, adelgazado y con recubrimiento Meta Chrome II. Los pixeles son de 19 micras, la resolución es de 14 bits y la tasa de lectura es de 50 KHz.

- Fotómetro
 - Cabezal (fototubo IP21)
 - Caja de enfriamiento (Trabaja con hielo seco)
 - Tarjeta de control, la cual es instalada en el ducto de una PC286
 - Rueda de filtros motorizada.

Tabla 1.2 Filtros en el Telescopio [7].

Lambda A	Ancho A
5013	10
5830	200
6570	9
7210	620
8000	455
8590	540
9820	620

- Red Ethernet

Red Ethernet conectada con fibra óptica a una PC486 y una IPC que utilizara como servidor [19].

1.5. Interferometría

Durante el siglo XIX, en 1802, Thomas Young reporto aparición de una distribución de máximos y mínimos de irradiación luminosa, resultados de un experimento en el cual se empleaba una doble rendija. El experimento de Young demuestra la naturaleza de las ondas de luz; consiste en iluminar una pantalla con dos agujeros, le llega la luz de un solo punto a cierta distancia. Al pasar a través de los agujeros la luz se difracta y las ondas de los dos

agujeros se interfieren entre sí por lo que en la segunda pantalla el patrón de difracción puede observarse mostrando sus características [12].

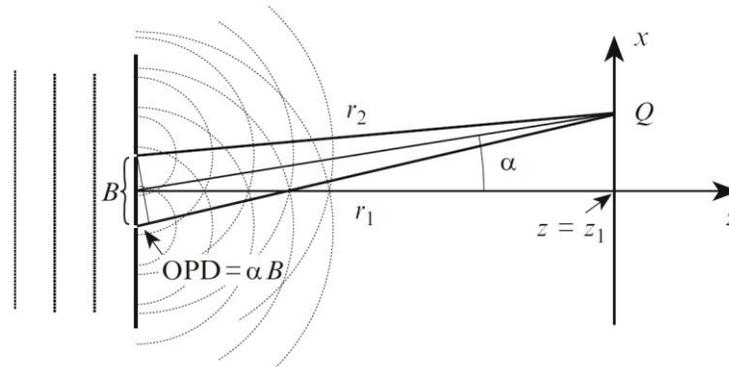


Figura 1.13 El experimento de Young [12].

Hasta 1880 Albert Abraham Michelson desarrolló métodos más eficientes para generar y evaluar patrones de interferencia, asimismo mostró los procedimientos emergentes que tuvieron un impacto en áreas como: la Metrología, la Geodesia, en la Astrofísica, en la Espectroscopia, en el concepto de Coherencia de campos y en la Teoría de la Relatividad [12].

El experimento de Michelson consiste en una onda proveniente de una fuente cualquiera, la cual incide sobre una placa divisora de haz de luz que se encuentra a 45° de manera que este separa la onda en dos idénticas, ambas ondas inciden sobre dos espejos planos, donde uno de ellos es móvil, dicho reflejo ocasionado por los espejos hace que las ondas se encuentren en el divisor de haz, esto provoca que se trasmitan a una lente [13].

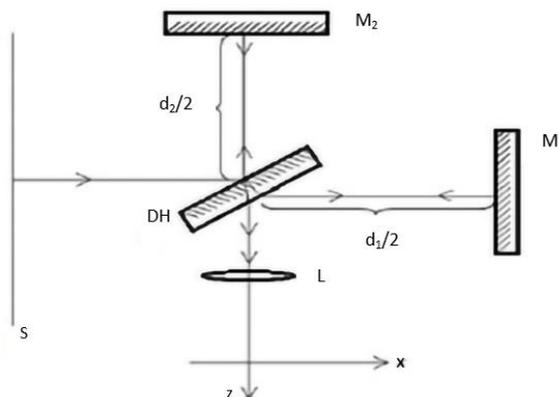


Figura 1.14 Interferómetro de Michelson [12].

Si los espejos están situados a la misma distancia del divisor, los haces se recombinan en fase, por lo que no se obtendría ningún patrón de interferencia, por el contrario, si los espejos se encuentran a distintas distancias las diferencias del camino óptico del haz provoca bandas o franjas de interferencia [13].

Posteriormente en los años 60 del siglo XX, la interferometría se consolidó y diversificó, siendo la microscopía óptica una de las disciplinas particularmente beneficiadas. Con el advenimiento de la luz láser en 1961, la interferometría clásica se revitalizó. Los láseres fomentaron nuevas técnicas como: la holografía, la interferometría holográfica y la interferometría de moteado coherente [12].

En resumen, la interferencia es un fenómeno que ocurre cuando entre dos o más ondas se encuentran en el espacio, si dichas ondas tienen la misma longitud y se encuentran de modo que la cresta de una coincide con la otra, entonces se conoce como ondas en fase. La máxima amplitud combinada de la onda es la suma de amplitudes de las ondas individuales esto se conoce como interferencia constructiva. El efecto opuesto se conoce como interferencia destructiva; cuando las ondas están desfasadas [13].

1.6. Interferometría de motas.

La interferometría de motas fue propuesta por Antoine Labeyrie en 1970 para telescopios simples. Formalmente calcula la correlación de intensidades como en el interferómetro de intensidad, este método fue impulsado por el deseo de superar la degradación de la resolución angular debido a la turbulencia de la atmósfera y para alcanzar el límite de difracción del telescopio [14].

Después de atravesar la turbulencia atmosférica, la imagen de una estrella es dispersada en una nube moteada. El tiempo de exposición para una imagen de este tipo debe ser más corto que la escala temporal de la evolución de las motas, es decir, más corta que la atmosférica. Dicho tiempo de coherencia está en el rango de milisegundos.

El principio de interferometría de motas es basado en el hecho de que dos objetos cercanos, como son las estrellas binarias forman dos imágenes idénticas ligeramente desplazadas entre sí, si la distancia entre los objetos es menor que el tamaño de la imagen, las intensidades se suman mostrando una imagen nueva, en la que a simple vista es indistinguible de la imagen de una sola fuente puntual. Debido a esto no se puede determinar si se observa una sola estrella o una estrella binaria [14].

Al calcular una función de autocorrelación del patrón de intensidad se encuentra un pico, es decir, una fuerte correlación simétrica en más o menos la coordenada de diferencia correspondiente a la distancia y orientación de los objetos. Debido a esta función no es posible determinar cuál de las estrellas es la más brillante, otra consecuencia es que puede haber muchos más picos debido a correlaciones aleatorias del patrón de manchas. Sus posiciones aleatorias se promedian al calcular la función de autocorrelación media de muchas imágenes tomadas instantáneamente [14].

Calcular la autocorrelación de intensidades en el plano de la imagen después de generar imágenes a través de la turbulencia requiere lidiar con dos anchos y tiempos de correlación diferentes, ya que tenemos dos procesos aleatorios. El primer proceso es el de emisión de una fuente de luz térmica introducida que se caracteriza por la función de coherencia en función de la forma de la fuente de luz y su espectro. El segundo está determinado por las estadísticas de turbulencia atmosférica. La diferencia más importante entre los dos procesos es la escala temporal en la que tienen lugar los cambios. Si bien el tiempo de coherencia como el recíproco del ancho de banda espectral es del orden de 10^{-12} - 10^{-14} segundos, el tiempo de correlación de la turbulencia atmosférica está en el rango de milisegundos [14].

1.7. Estrellas

De acuerdo con el Doctor Luis F. Rodríguez “Las estrellas son gigantescas bolas de gas, de forma esférica, en cuyas partes centrales se dan condiciones de presión y temperatura lo suficientemente elevadas para que ocurran reacciones termonucleares”. Dichas estrellas tienen gran cantidad de energía cósmica las cuales producen: calor, luz, rayos ultravioletas, rayos X y otras formas de radiación [15].

El brillo generado por una estrella es un indicador de cuanta energía liberan, a esto se le conoce como luminosidad, debido a este fenómeno es como se puede saber la distancia a la que se encuentra de la Tierra. Las estrellas también suelen ser de diferentes colores debido a que sus temperaturas no son iguales, las blancas o azules son las más calientes, mientras que las que parecen tonos rojos o anaranjados son las más frías. Se clasifican debido a su tamaño en un rango de enanas hasta supergigantes, por ejemplo, las estrellas supergigantes pueden llegar a tener radios hasta mil veces mayores que nuestro sol [16].

Para el nacimiento de una estrella el hidrógeno es parte fundamental, el cual se encuentra en forma de gas circulando en nubes de polvo llamadas nebulosas, debido a la rotación que tienen provocan que se forme un núcleo, debido a la rotación se presenta lo que se conoce como fuerza centrífuga esto impide que el gas caiga directamente al núcleo, con el pasar del tiempo la gravedad hace que se condensen haciendo que se hagan más pequeñas, la acumulación de la presión provoca un aumento de temperatura lo que ocasiona fusión nuclear cuando la temperatura del núcleo alcanza 27 millones de grados Fahrenheit [16].

La estrella más conocida es la de nuestro sistema solar, la cual es una estrella solitaria, pero en el universo tres de cada cuatro son estrellas binarias las cuales se explican en la siguiente sección.

1.8. Estrellas binarias

En la población estelar el porcentaje de estrellas dobles respecto a las estrellas solitarias son valores altos, se estima que las estrellas binarias llegar cerca del 80 por ciento, debido a esto, su estudio es sumamente importante en la astronomía, en la figura 1.15 se muestra el ejemplo de una estrella binaria [17].



Figura 1.15 Estrella binaria Albireo [17].

Existen dos clases fundamentales para describir las estrellas binarias, las binarias separadas y las binarias interactivas. La principal diferencia física entre ellas es que las estrellas binarias separadas están dominadas por la fuerza de sus masas, por lo que ambas estrellas giran alrededor una respecto a la otra, pero a una distancia suficiente para que no exista otro tipo de interacción. Las estrellas binarias interactivas se encuentran cerca que aparte de las fuerzas de atracción gravitacionales, existe un intercambio de materia entre ellas, y adicionalmente hay una interacción debida a su radiación luminosa, por lo que su comportamiento se ve afectado [17].

Existe otra clasificación la cual se muestra a continuación:

- Binarias aparentes: Son estrellas dobles visualmente pero que no se encuentran a la misma distancia.
- Binarias visuales: Son parejas de estrellas que se ven muy cercanas entre ellas y se encuentran a la misma distancia de la Tierra, además están ligadas por la fuerza gravitación entre ellas.
- Binarias astrométricas: En este caso dichas estrellas vistas desde un telescopio parece ser una sola estrella, se puede inferir que es una estrella binaria debido a su movimiento oscilatorio.
- Binarias espectroscópicas: Cuando un sistema binario no se resuelve de manera óptica, se realiza a través de un espectro observando la superposición de dos espectros distintos.

- Binarias espectrales: Son sistemas no resueltos los cuales no muestran variaciones de velocidad radial, pero que produce un espectro compuesto.
- Binarias fotométricas eclipsantes: Si el plano de rotación de un sistema binario es cercano al plano del observador, entonces cada una de las estrellas puede eclipsar la luz de la otra estrella periódicamente.
- Binarias Interferométricas: Son estrellas que vistas desde el telescopio están separadas aproximadamente por un segundo de arco o menos, y que no se pueden distinguir visualmente, por lo cual se utiliza una técnica de interferometría.

1.9. Clasificación espectral

Para el estudio de cuerpos celestes como en este caso estrellas, existe una clasificación espectral la cual como su nombre lo indica las divide en tipos espectrales y en clases de luminosidad, esto fue debido a que en 1807 Joseph Fraunhofer determinó que las estrellas tienen espectros distintos los cuales pueden ser comparados con espectros de laboratorio y un patrón característico de cada elemento [18].

Los tipos espectrales fueron definidos por letras del alfabeto: O, B, A, F, G, K y M, en donde los tipos O tienen temperaturas de al menos 50,000° kelvin para estrellas masivas calientes y los más fríos con temperaturas de 2,000° kelvin, cada tipo espectral es subdividido en otros 10 tipos recibiendo números del 0 al 9 donde el 0 es el más caliente y el 9 el más frío [19].

Esta clasificación también indica la clase de luminosidad que se refiere al tamaño de la estrella en comparación con otras dentro de su misma clasificación espectral, para esto se marcan mediante números romanos que van del I, II, III, IV, etc. en donde a menor número romano de mayor tamaño será la estrella [19].

Las clases de estrellas con números romanos I y II se consideran super gigantes las clases III son gigantes, las IV son subgigantes y las clases V las enanas, también existen la clase VI y VII para designar las subenanas [19].

Nuestro sol en esta clasificación de tipo G2V, es decir una estrella de tipo espectral G2 y clase de luminosidad V.

1.10. Protección interna para evitar reflejos; anodizado

El proceso de anodizado de aluminio es un tratamiento el cual consiste en formar una capa de óxido de aluminio en su superficie, esto se realiza en forma controlada. El proceso es a través de un electrolítico, en el cual se hace pasar una corriente continua a través de su superficie del aluminio, por lo que se comporta como ánodo en un medio ácido [20].

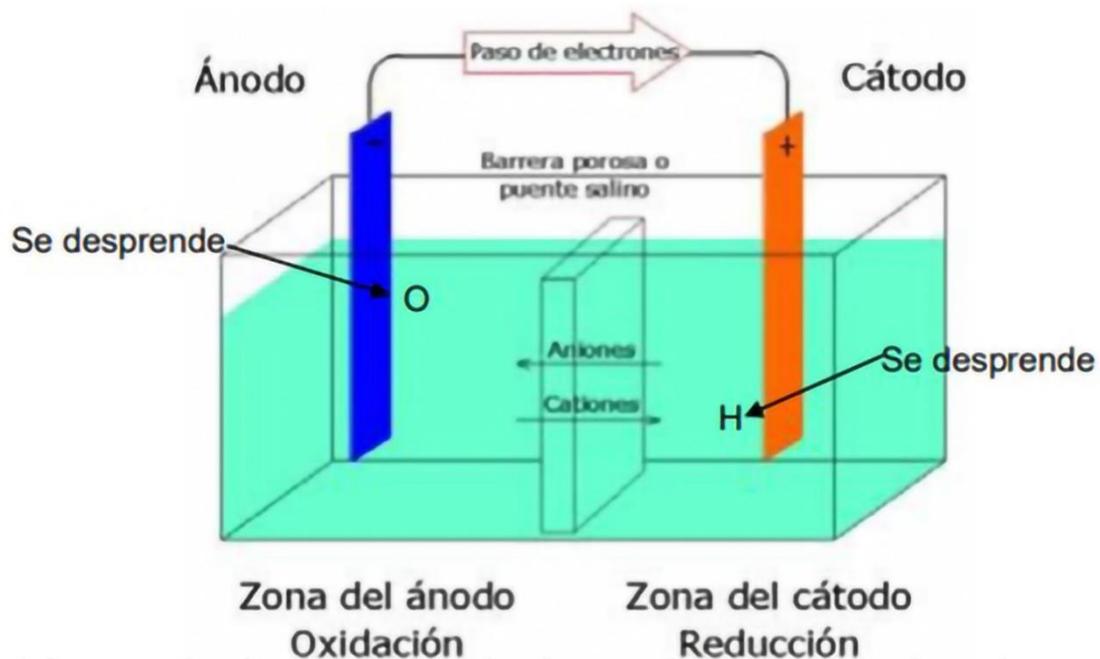


Figura 1.16 Proceso de anodizado [21].

Mediante este proceso se consigue una protección contra la corrosión, aumenta su resistencia a la abrasión superficial. Al realizar el tratamiento es posible obtener distintos grosores de esta capa de óxido debido a varios factores que intervienen como son, el electrolito, la corriente eléctrica, la temperatura del baño y la duración del tratamiento.

Una particularidad que tiene el anodizado de aluminio es que la estructura de la capa de óxido es porosa, por lo que permite obtener una amplia gama de coloración como: oro,

burdeos, bronces, inoxidable, negro, titanio, azul, verde. Además, se pueden obtener distintos acabados: granallado, lija, brillo, pulido o combinaciones de varios de estos tratamientos superficiales [20].

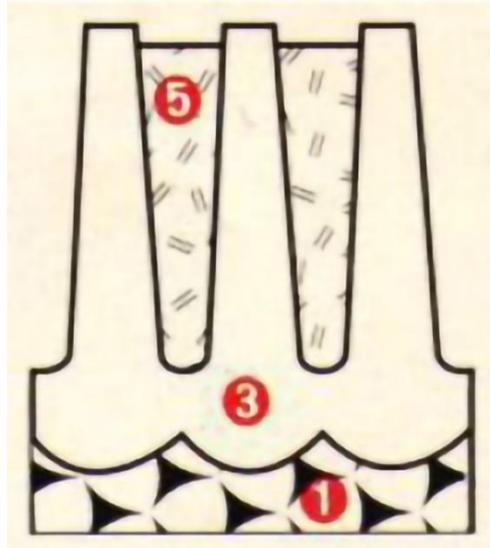


Figura 1.17 Zona de anodizado.

- 1.- Base del aluminio.
- 3.- Capa de óxido de aluminio.
- 5.- Poros

Capítulo 2 Diseño y manufactura

En este capítulo se presenta las condiciones de operación del instrumento, así como el proceso de diseño y las simulaciones a través del método por elementos finitos para corroborar su funcionamiento.

2.1. Necesidades del cliente

En el estudio de las estrellas es de vital importancia el obtener imágenes de alta resolución, un método de conseguir imágenes de buena calidad es la colocación de telescopios en la órbita terrestre, esto permite el tomar imágenes las cuales no sufren de la interferencia atmosféricas, una gran desventaja es que el método es sumamente costoso, por lo que se han buscado diversas alternativas más económicas y fáciles de realizar.

El método de interferometrías de motas es un instrumento astronómico que permite la obtención de imágenes con mejor resolución, el cual consiste en tomar imágenes de exposición corta, lo que permite congelar la interferencia atmosférica, esto mejora las observaciones realizadas en los telescopios terrestres. Esto presenta una gran ventaja económica en comparación con otras técnicas; aunque cabe destacar que tiene sus desventajas, una de estas es la magnitud de brillo de estrellas que pueden observarse.

2.2. Definición del problema

Para aplicar el método de interferometría de motas, hay que alinear los instrumentos ópticos, para la aplicación del método es necesario; una cámara, una rueda de filtros, un objetivo y un telescopio. Por lo que es necesario el diseño de una estructura con soportes opto mecánicos, los cuales tiene como objetivo mantener estos instrumentos alineados en todo momento de operación, además de permitir cambiar de posición el objetivo, en caso de la necesidad de realizar algunos cambios de instrumentos.

Dicha estructura debe poder acoplarse al telescopio de 1 metro de la OAN que tiene sede en Tonantzintla, Puebla dicho telescopio no debe sufrir alguna modificación o alteración, también en caso de ser necesario debe ser posible el cambiar la cámara.

Una vez ensamblado, se debe poder desacoplar la cámara y la rueda de filtros de manera sencilla y sin necesidad de desmantelar la estructura principal, así como variar la distancia horizontal y vertical del objetivo óptico.

2.3. Pregunta de Investigación

¿Es posible mejorar el diseño de un instrumento astronómico, capaz de mantener una alineación entre componentes ópticos durante su operación?

2.4. Objetivo

El objetivo de esta tesis consiste en desarrollar una mejora al instrumento astronómico Tohtli, que permita observar estrellas binarias de diferentes catálogos estelares. El objetivo es verificar la naturaleza reportada en dichos catálogos. El instrumento debe permitir la alineación entre el telescopio de 1 metro de diámetro del Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla, Puebla (OAN-TNT), una rueda de filtros, la óptica de enfoque y una cámara.

Objetivos específicos

- Diseñar los soportes optomecánicos para la rueda de filtros, el objetivo, la cámara y las interfaces mecánicas al telescopio.
- Simular por el método de los elementos finitos los esfuerzos y deformaciones estructurales para garantizar que el sistema permanezca alineado durante su operación.
- Realizar el seguimiento de la manufactura de los componentes mecánicos.
- Ensamblar el instrumento y hacer la metrología pertinente de las componentes con tolerancias críticas de posición.
- Integrar el instrumento al telescopio y hacer pruebas de funcionamiento en el observatorio.

2.5. Especificaciones y requerimientos

Los requerimientos son fundamentales en la etapa de diseño mecánico debido a que establecen los criterios que el prototipo debe cumplir para un funcionamiento adecuado,

además, permiten minimizar los errores antes de la manufactura; ahorrando costos y tiempos de proyectos.

- El telescopio, el objetivo, la cámara y la rueda de filtros deben tener sus ejes ópticos alineados durante el funcionamiento del instrumento +/- 250 micrómetros.
- El objetivo se debe poder desplazar tanto horizontal como verticalmente, con la finalidad de garantizar la alineación.
- El objetivo debe permanecer fijo en la posición establecida en todo momento de su operación.
- Se debe poder acceder al interior del instrumento sin necesidad de desarmar el instrumento.
- Debe ser capaz de funcionar en cualquier posición respecto al vector de gravedad.
- Los desplazamientos máximos deben ser menores a 10 micrómetros en un tiempo de 10 segundos.
- El telescopio no debe sufrir ninguna alteración al instalar el instrumento.
- El peso máximo incluyendo la cámara y su estructura debe ser menor a 23 kg.
- Su ensamble debe ser posible de realizarse en máximo 2 horas y por una persona.
- El instrumento debe soportar las condiciones ambientales, así como evitar la corrosión para un uso en otro momento. Intervalo de temperatura de -5 °C a 30 °C y gradiente térmico de 4 °C en una hora.

2.6. Condiciones generales

Las condiciones generales a las que podrá estar sometido el instrumento astronómico durante su operación en Tonantzintla, Puebla son las siguientes:

- Durante el transcurso del año la temperatura general varía de 6 °C a 26 °C, en algunos periodos puede llegar hasta 3 °C o sube más de 29 °C.

- El promedio de nubes en el transcurso del año varía extremadamente, la parte más despejada comienza a partir del 30 octubre y dura aproximadamente 6 o 7 meses, con días mayormente despejados o parcialmente nublado el 70% del tiempo.
- La precipitación durante todo el año se muestra en la siguiente grafica.

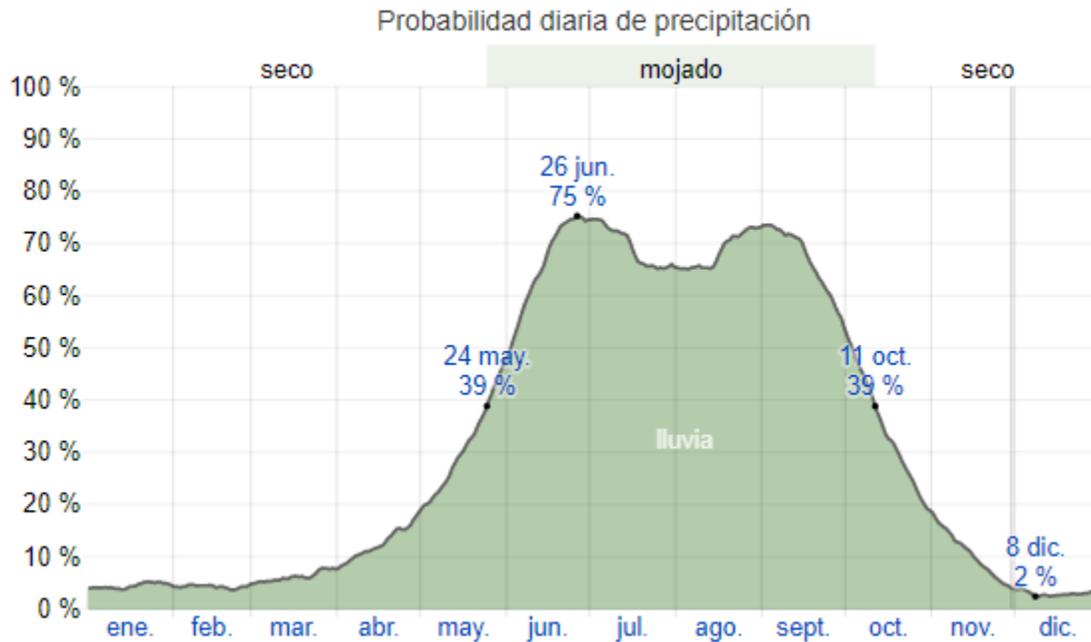


Figura 2.1 Datos de probabilidad de precipitaciones en 2019 [22].

- El nivel de humedad se toma en cuenta en el punto de rocío, a diferencia de la temperatura, el punto de rocío tiende a cambiar lentamente. El nivel de humedad percibido no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente en 0%.
- La velocidad del viento depende de la topografía local, la velocidad promedio del viento es de 9.6 kilómetros por hora y dura aproximadamente 9.9 meses del 24 junio al 22 de abril. En los meses restantes la velocidad promedio de viento es de 8 kilómetros por hora.

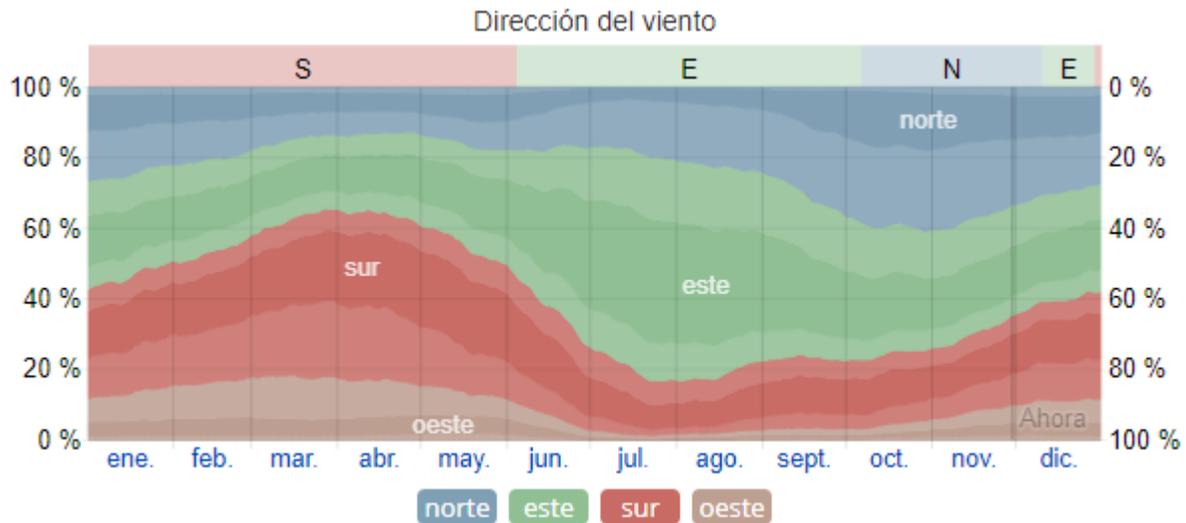


Figura 2.2 Dirección de viento en el 2019 [22].

2.7. Diseño

Tomando en consideración las 3 versiones anteriores del Instrumento, se detectó posibles mejoras al diseño realizado en el 2011 por Ricardo Arturo Vázquez Robledo dicho instrumento fue probado en el Telescopio de 2.12 metros en el Observatorio Astronómico Nacional, que se encuentra en el Parque Nacional de San Pedro Mártir, mejoras que pueden realizarse se enuncian a continuación:

- Se requiere utilizar un filtro óptico detrás el objetivo.
- Las distancias ópticas son fijas.
- Cambio de cámara o rueda de filtros es complicado.
- Facilidad en el cambio de objetivo óptico
- Fácil acceso al instrumento ya montado.

Tomando en consideración estas mejoras se procedió a realizar las posibles soluciones, también dichas soluciones no deben ser costosas ni complicadas, a continuación, se presentan las mejoras:

- El porta objetivos está diseñado para poder desplazarse de forma vertical y profundidad respecto al instrumento, además de poder colocar los filtros detrás del

objetivo sobre la misma pieza, esto permite el colocar diferentes filtros de una forma rápida, son sujetados por un tornillo con punta de nylon el cual tiene un apriete a mano.

- El instrumento cuenta con dos puertas deslizantes para poder acceder a él, esto es debido a que colocando una sola gaveta no es ergonómico al momento de querer cambiar algún componente, por lo que al posicionar las dos te da más espacio para maniobrar o incluso el utilizar ambas manos.
- El sistema de sujeción de la cámara y la rueda de filtro fue diseñado para desmontar de forma más rápida, debido a que es sujeta por una pieza roscada, la cual se puede acceder fácilmente a través de una de las compuertas con las que cuenta el instrumento.
- En total el instrumento cuenta con 24 piezas distintas.
- Otro cambio que hubo fueron los espesores de las placas. Ya que son de 6.35 mm y 9.5 mm.
- Para evitar mayores costos en el proceso de manufactura, se evitó el uso de tornillos avellanados, por lo que la mayor parte de la tornillería es cabeza de botón, evitando realizar a las placas de la estructura avellanados o barrenos tipo caja.

El instrumento Tohtli tiene una configuración simple, además de que permite su fabricación a bajo costo debido a sus geometrías sencillas, tornillería comercial, el material a utilizar es aluminio 6061 con espesores de calibres de láminas y placas comerciales.

El instrumento se ensamblará a la platina del Telescopio de 1 metro ubicado en Tonantzintla, Puebla. En donde se utilizará para medir el ángulo de separación y posición de sistemas binarios.

2.7.1. Estructura mecánica

La estructura mecánica está conformada por placas de aluminio las cuales son unidas a barras también fabricadas de aluminio con un perfil cuadrado, dichas barras son el soporte de la estructura, las placas van atornilladas a las barras para cubrir el interior del instrumento evitando el paso de la luz, además se integraron dos puertas corredizas para acceder a su interior sin necesidad de desacoplar el instrumento del telescopio.

El principio de agregar dos compuertas para acceder al interior del instrumento es principalmente para facilitar el acceso y tener más maniobrabilidad, aunque con una sola compuerta es posible el realizar las modificaciones pertinentes al instrumento en caso de ser necesario, en Ingeniería es importante el tomar en cuenta el concepto de ergonomía, durante el desarrollo del proyecto, es notorio que las compuertas son solo del tamaño justo para que pase una sola mano, al momento de montar el instrumento al telescopio impide que sea manipulado con facilidad en comparación a tenerlo en una mesa donde puedes moverlo para estar más cómodo, en caso de tener que calibrar el instrumento cuando este se encuentra montado. El estar mucho tiempo en una posición incómoda puede provocar que el usuario sienta cansancio en los tendones de la mano o el brazo, es por esta razón que se optó por colocar dos compuertas, buscando una mayor comodidad al usuario, esto a la vez impide que haya algún accidente o incluso mayor facilidad de reajustar el instrumento.

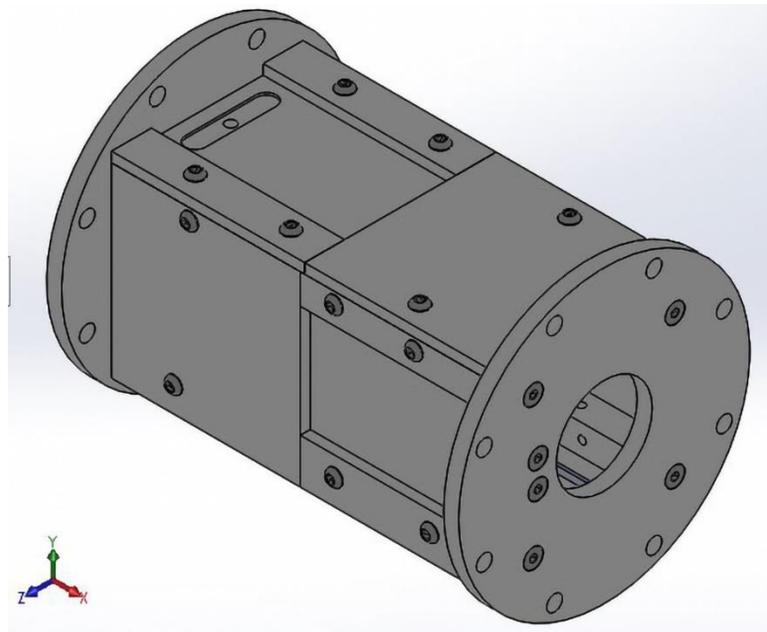


Figura 2.3 Diseño de Tohtli.

2.7.2. Movimiento del objetivo

El interferómetro tiene un sistema que permite su movimiento en sentido vertical y profundidad, esto con la finalidad de poder cambiar de objetivo y así sea posible enfocararlo, en caso de ser necesario. Este sistema es simple debido a que en la placa base tiene dos rieles, en los cuales se inserta una pieza la cual se desliza a través de ellos, sobre esto va otra pieza

que permite que el soporte del objetivo se desplace verticalmente, para que logre permanecer fijo en la posición deseada hay 4 pernos de hombro que permiten ajustar el objetivo y para impedir su movimiento.

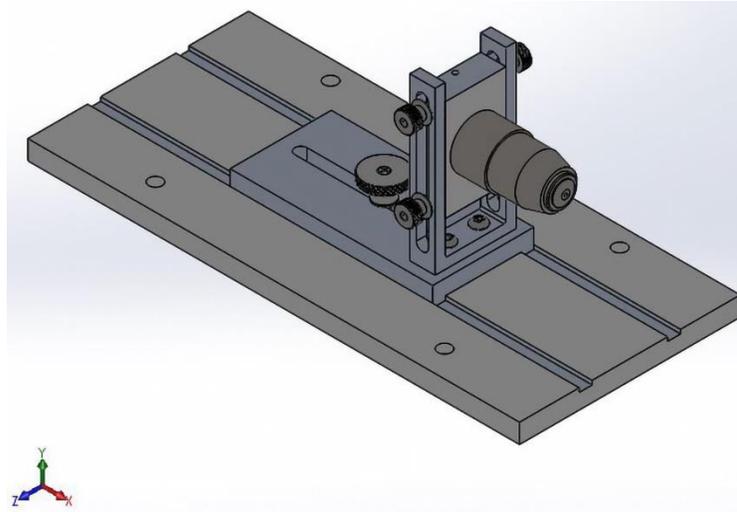


Figura 2.4 Diseño de mecanismo de movimiento del objetivo.

2.7.3. Acoplador de cámara y rueda de filtros

La pieza para acoplar una cámara iXon a la rueda de filtros que se utilizan al momento de realizar las pruebas del instrumento, ya se había diseñado y manufacturado previamente en el IA-UNAM, por lo que no fue necesario un diseño nuevo y solo se mandó realizar una pieza nuevamente. Con esta pieza ya se tiene la unión de la cámara y la rueda de filtros, para poder acoplarlos a la estructura mecánica se diseñaron dos piezas.

Una de las piezas fue diseñada para roscarse en la rueda de filtros, además que sirve para centrar en el eje óptico de la rueda de filtros y la cámara. Por el otro lado de la pieza también tiene una rosca también, en esta rosca se coloca la segunda pieza que hace la función de una tuerca, lo que permite sujetar todo en la placa de la estructura mecánica por dentro. Se realizó el diseño de esta forma para permitir un montaje y desmontaje más rápido, ya que la pieza está diseñada para realizar un apriete a mano, evitando el uso de herramientas, para acceder a él es relativamente sencillo debido a que una de las puertas que tiene el instrumento está directamente estas las piezas.

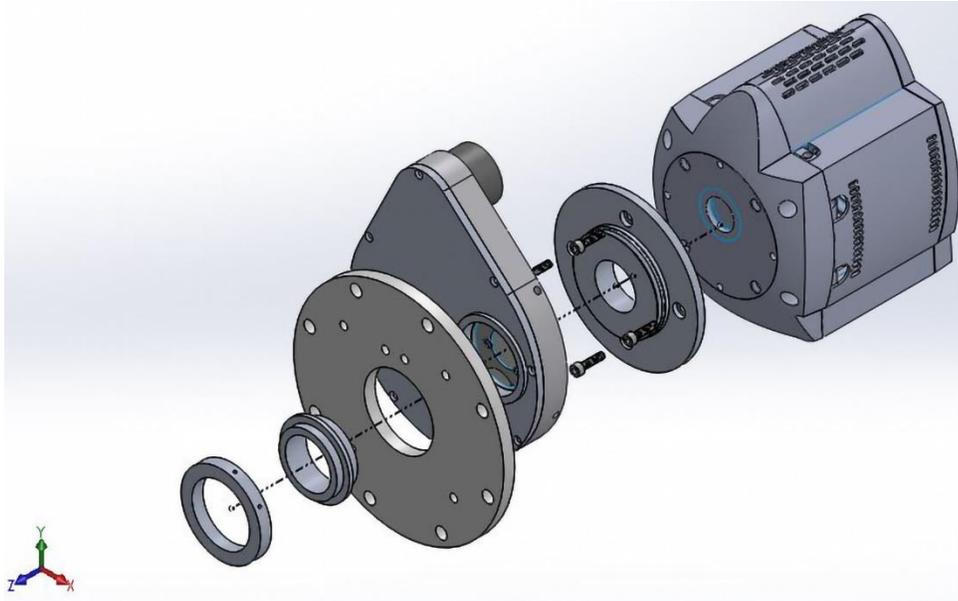


Figura 2.5 Acoplado de Cámara iXon y Rueda de filtros a Tohtli.

Rueda de filtros

La rueda de filtros es de Finger Lake Instruments el modelo es CFW1-8, esta rueda tiene para colocarse 8 filtros diferentes y es automatizada, con las siguientes especificaciones: [11]



Figura 2.6 Rueda de filtros FLI.

Tabla 2.1 Características de la rueda de filtros [23].

Numero de ruedas de filtro	Uno
Posiciones de filtro	Ocho
Tamaño de filtro recomendado	28 mm de diámetro
Rango de espesor del filtro	3,0 – 5,0 mm
Tipo de filtro	Solo desmontados
Grosor general	20,6 mm
Conexión lateral de la cámara	Bolsillo de 2.930 ‘’
Material interno de la rueda	Sintra
Interfaz	USB
Poder	12 V
Peso	0.77 kg

Cámara

La cámara utilizada en este proyecto es la cámara iXon 888 de Andor Technology con las especificaciones siguientes:

Tabla 2.2 Características de la cámara iXon 888

Pixeles activos (H x V)	1024 x 1024
Tamaño de píxel (H x V: μm)	13 x 13
Área activa de píxel espesor de pared	80,000
MHz	30
Fps	28 (full frame) - 9600
Read noise	<1 e
QE Max	>95%
Área de imagen (W x H, mm)	13.3 x 13.3
Diagonal (mm)	18.8



Figura 2.7 Cámara ANDOR iXon 888.

2.8. Selección de materiales

La selección de un material es fundamental para un diseño mecánico, debido a los requerimientos que debe cumplir el proyecto mostrados de la sección 2.1. el material debe ser ligero, fácil de manufacturar para reducir costos, debe ser resistente a las condiciones generales como evitar la corrosión del instrumento.

Existen muchos materiales posibles para un proyecto de este tipo puede ser algún polímero o metales, así como combinación de estas llamadas aleaciones, en las versiones anteriores se ha utilizado aluminio debido que presenta varias ventajas con respecto a otros materiales. También existen varias aleaciones de aluminio comerciales en México. Cada una de estas presentan diversas ventajas entre ellas.

Con las versiones anteriores de interferómetro realizados en el IA-UNAM el aluminio 6061 a presentando ser un buen material para este tipo de proyectos, por lo que no hay razones por las cuales sea necesario el cambiar de material, además que el instituto cuenta con dos placas de aluminio de 6.35 mm y 9.5 mm de espesor, las cuales es posible reutilizarlas para la elaboración de Tohtli.

2.9. Mecánica analítica

Se realizaron los cálculos de deformación por un método matemático para estimar los resultados, para realizar esto se consideró al instrumento Tohtli como una viga en voladizo como se muestra a continuación:

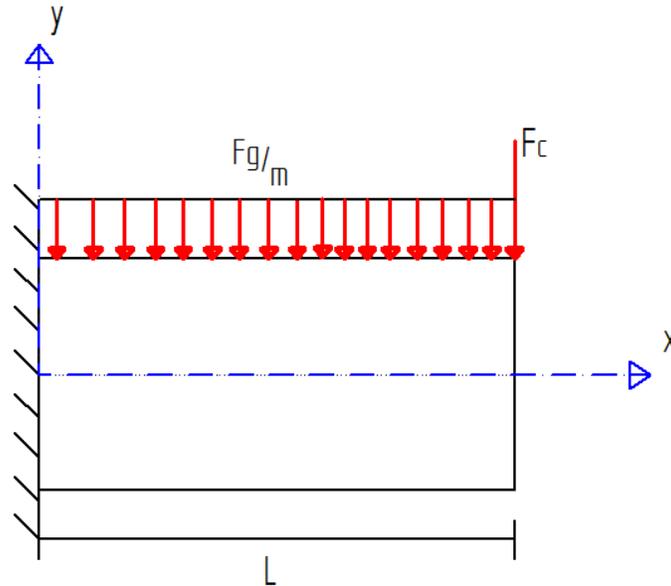


Figura 2.8 Viga en Voladizo Tohtli.

$F_c \rightarrow$ Fuerza por efecto de la gravedad de los componentes

$\frac{F_g}{m} \rightarrow$ Fuerza por efecto de la gravedad de la estructura Thotli

$L \rightarrow$ Longitud de la estructura

Para determinar la fuerza de la gravedad de los componentes, se tomó en cuenta su peso y se multiplico por la gravedad, los componentes a utilizar son la cámara, la rueda de filtros y la pieza que es el soporte de la cámara (Tohtli-MEC-RF-CAM) por lo tanto:

$$F_c = (m_{Camara} + m_{R.Filtros} + m_{RF-CAM} + m_{Tornillos})g$$

$$F_c = (3.7 [kg] + 1.12 [kg] + 0.322[kg] + 0.02135 [kg])9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_c = 50.65 [N]$$

La fuerza de la estructura se determinó considerando su peso total del a estructura, tanto la placa, los tornillos y los componentes internos del instrumento:

$$m_{est} = 3.278 [kg]$$

$$\frac{F_g}{m} = \frac{m_{est}g}{L}$$

$$\frac{F_g}{m} = \frac{50.65 [kg] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]}{0.242 [m]} = 132.46 \left[\frac{N}{m}\right]$$

Las restricciones se muestran en la siguiente figura, para esto es necesario marcar la fuerza distribuida como una marca puntual, debido a que su masa no es uniforme a lo largo de toda la estructura, se determinó el centro de masa atreves del software considerando la estructura de Tohtli a continuación se muestra el centro de masa de la estructura:

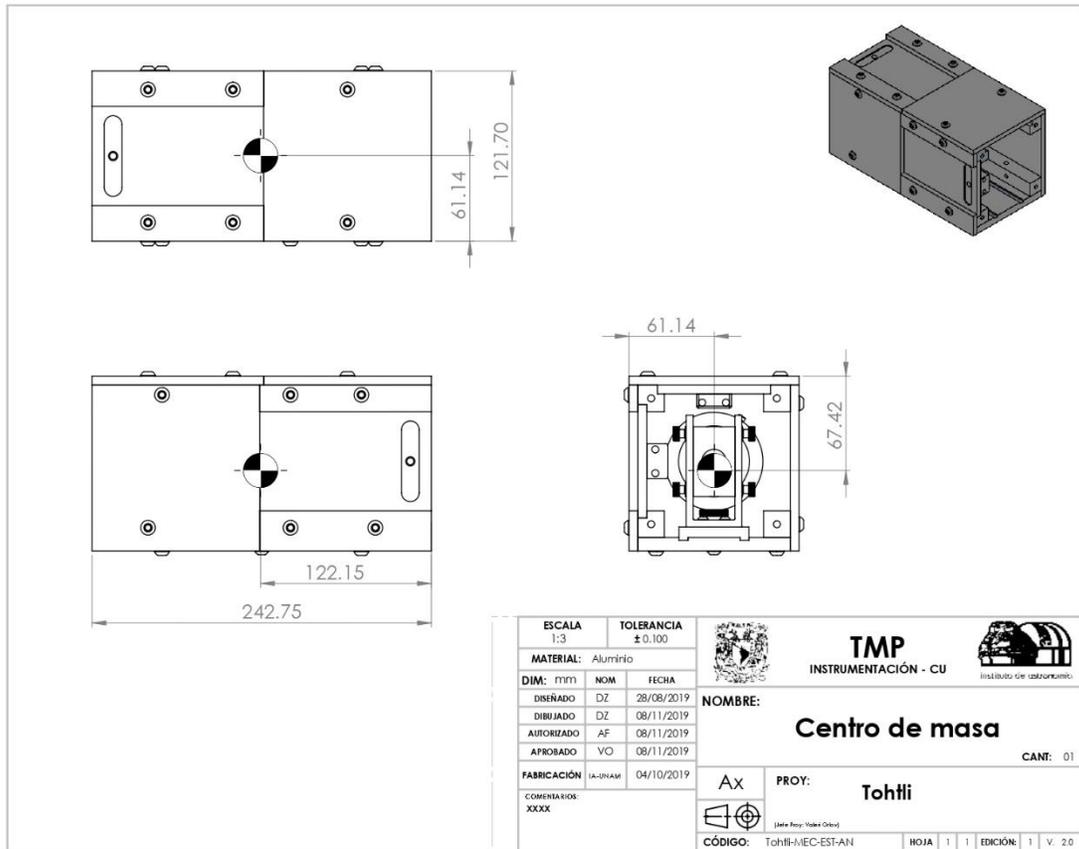


Figura 2.9 Centro de masa Tohtli.

Para determinar las reacciones de la estructura la fuerza distribuida se transforma en una carga puntual en su centro de masa:

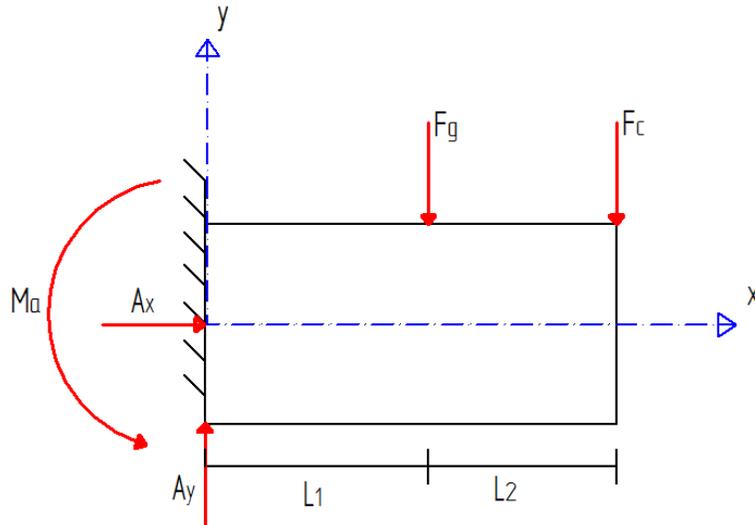


Figura 2.10 Simplificación carga distribuida.

$$F_g = 132.46 \left[\frac{N}{m} \right] * 0.2427 [m]$$

$$F_g = 32.157 [N]$$

$L_1 \rightarrow$ Distancia al centro de masa

$L_2 \rightarrow$ Distancia del centro de masa al final de la estructura

$M_a \rightarrow$ Reacción de momento en el punto de empotramiento

$A_x \rightarrow$ Reacción en el eje x

$A_y \rightarrow$ Reacción en el eje y

Realizando el cálculo de las reacciones se consideran condiciones estáticas, por lo tanto:

$$\sum M_a = 0$$

$$M_a - F_g L_1 - F_c L = 0$$

$$\therefore M_a = F_g L_1 + F_c L \dots Ec.1$$

$$M_a = (32.152 [N])(0.122 [m]) + (50.65 [N])(0.2427 [m]) = 16.215 [Nm]$$

$$\sum Fy = 0$$

$$A_y - F_c - F_g = 0$$

$$\therefore A_y = F_c + F_g \dots Ec.2$$

$$\therefore A_y = 50.65 [N] + 32.157 [N] = 82.8 [N]$$

No existe reacción en el eje x debido a que no hay cargas en esta dirección, por lo tanto:

$$\sum Fx = 0$$

Aplicando el método de secciones de corte

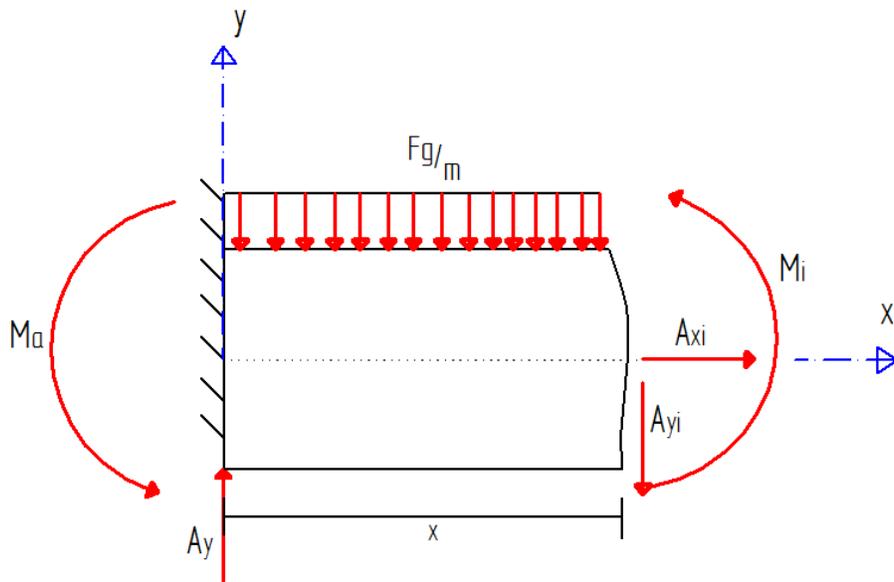


Figura 2.11 Corte de la viga.

Para realizar el análisis la carga distribuida por la gravedad se cambia a una carga puntual en función del eje x como se muestra en la siguiente imagen.

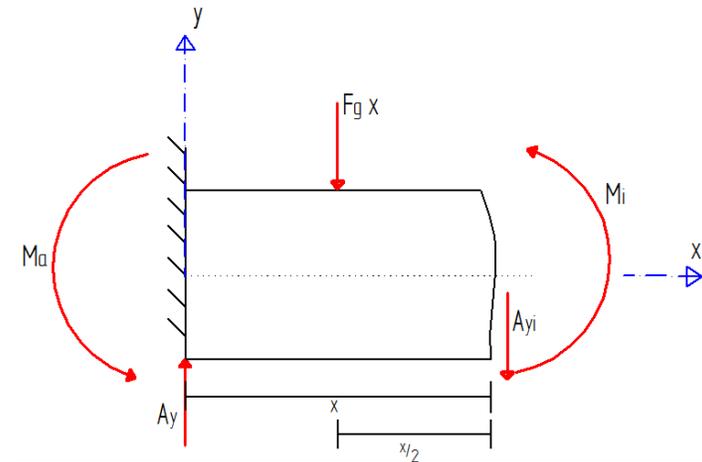


Figura 2.12 Simplificación de carga distribuida en carga puntal.

$$\sum M_i = 0$$

$$Ma - A_y x + F_g x \left(\frac{x}{2} \right) + M_i = 0$$

Despejando el momento i

$$M_i = A_y x - F_{dis} x \left(\frac{x}{2} \right) - Ma \quad \dots \text{ Ec. 3}$$

Sustituyendo los valores de las reacciones en la ecuación 3

$$M_i = 82.8 [N] x [m] - 132.46 \left[\frac{N}{m} \right] \left(\frac{x^2}{2} [m^2] \right) - 16.215 [Nm]$$

$$M_i = 82.8x - 132.46 \left(\frac{x^2}{2} \right) - 16.215 [Nm] \quad \dots \text{ Ec. 4}$$

Evaluando en $x = 0.0$

$$M_i = 82.8(0) - 132.46 \left(\frac{0^2}{2} \right) - 16.215 [Nm]$$

$$M_i = -16.215 [Nm]$$

Evaluando en $x = L$

$$M_i = 82.8(L) - 132.46 \left(\frac{L^2}{2} \right) - 16.215 [Nm] \dots Ec. 4$$

$$M_i = 82.8(0.2427) - 132.46 \left(\frac{0.2427^2}{2} \right) - 16.215 [Nm]$$

$$M_i = -0.020 [Nm]$$

La sumatoria de fuerzas en y

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - F_g x - A_{yi} = 0$$

Despejando A_{yi}

$$A_{yi} = A_y + F_g x \dots Ec. 4$$

$$A_{yi} = 82.8 [N] - 32.15 \left[\frac{N}{m} \right] x [m]$$

Evaluando en $x = 0.0$

$$A_{yi} = 82.8 [N] - 32.15 \left[\frac{N}{m} \right] (0 [m])$$

$$A_{yi} = 82.8$$

Evaluando en $x = L$

$$A_{yi} = 82.8 [N] - 32.15 \left[\frac{N}{m} \right] (L [m])$$

$$A_{yi} = 82.8 [N] - 32.15 \left[\frac{N}{m} \right] (0.242 [m])$$

$$A_{yi} = 75.01 [N]$$

Diagramas de momento flector y fuerza cortante:

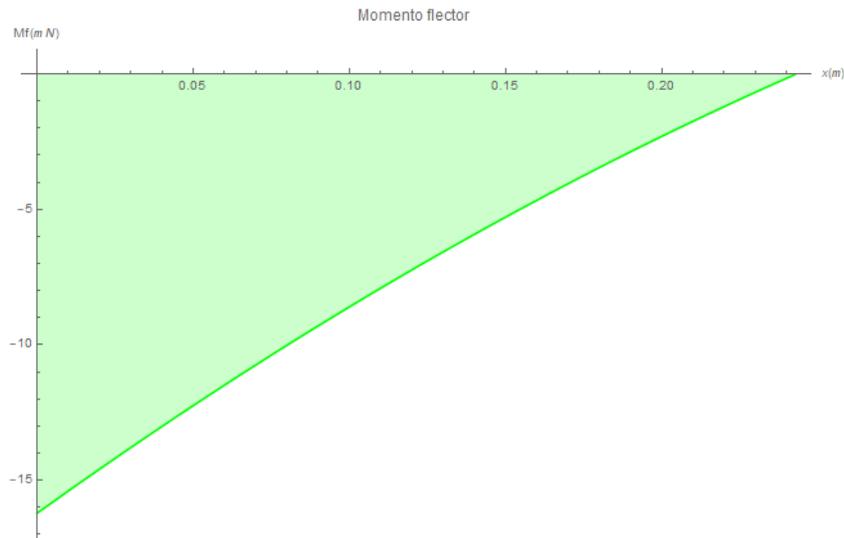


Figura 2.13 Diagrama de momento flector.

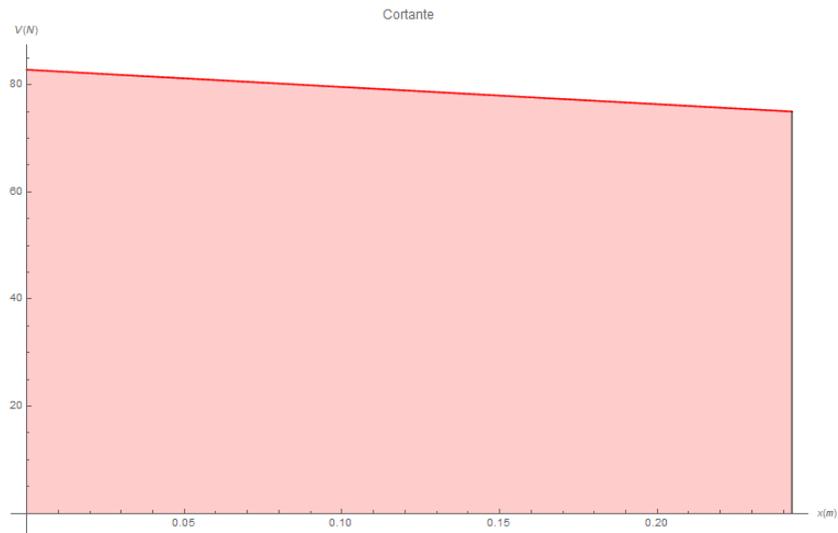


Figura 2.14 Diagrama fuerza cortante.

Obteniendo el momento flector y el cortante se puede calcular el esfuerzo máximo que sufre la estructura.

Momento de Inercia

Para el momento de inercia se considero es constante a lo largo de la estructura a pesar de que las puertas influyen por lo que el momento se consideró como se muestra a continuación:

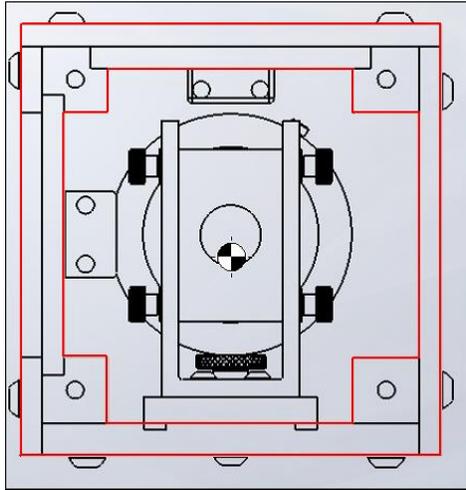


Figura 2.15 Simplificación Perfil de Tohtli.

Tabla 2.3 Momentos de inercia de la sección trasversal.

$L_{xx} = 12382032.37$	$L_{xy} = 4822.59$	$L_{xz} = 0.00$
$L_{yx} = 4822.59$	$L_{yy} = 11249272.73$	$L_{yz} = 0.00$
$L_{zx} = 0.00$	$L_{zy} = 0.00$	$L_{zz} = 23631305.10$

El momento de inercia a utilizar es $I_{xx} = 11249272.73 \text{ mm}^4$

Esfuerzo

Para cálculos el esfuerzo se toma en cuenta el momento flector máximo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M_f c}{I}$$

$M_f \rightarrow$ Momento flexionante

$I \rightarrow$ Momento de inercia en la sección transversal

$c \rightarrow$ Distancia del eje centroidal a las fibras externas

$$\sigma_{max} = \frac{(-16.215 [Nm])(0.06245 [m])}{0.0000112492 m^4} = 90.017 [kPa]$$

2.10. Análisis por elementos finitos

Para el análisis por el método de elementos finitos se utilizó el software SolidWorks, en el cual se realizó un modelo CAD (Computer-aided design) de cada componente que conforma el proyecto Tohtli, por lo que para realizar las simulaciones se emplearon 3 casos considerando solo las deformaciones ocasionadas por la fuerza gravitacional.

Para realizar las simulaciones se implementaron dos piezas no deformables debido a que no se analizara como es la deformación en estas piezas, las cuales son la cámara y la rueda de filtros, se realizó de esta forma debido a que sus geometrías no son simétricas por lo que sus momentos que le generan la pieza respecto de sus centros de masa no coinciden con la estructura mecánica. Se hicieron piezas que tiene geometrías muy similares a las reales, pero sin tomar en cuenta los detalles, esto nos permite tener sus centros masas cerca de los reales, además se les asigno sus propiedades físicas como el peso debido a que las simulaciones solo incluye la fuerza gravitacional. Este estudio también puede realizarse definiendo un nodo en los centros de masa de la cámara y de la rueda de filtros, además asignándoles la propiedad del peso, lo que disminuye el tiempo de cálculo del modelo, pero se optó por realizarlo con piezas no deformables en lugar de excluirlas, ya que las interacciones de contacto entre las piezas se siguen teniendo en cuenta en la simulación.

Para la realización de las simulaciones FEM (Finite Element Method), al momento de realizarlas hay dos opciones que se pueden hacer, estas son a través de uniones rígidas o sin penetración, al utilizar las uniones rígidas lo que hace el software es soldar las piezas que se encuentran contacto, es decir las caras que se tocan entre si las fusiona como si fueran una sola pieza, este tipo de análisis nos permite obtener una aproximación de la deformación del modelo, ya que es más rápido el análisis, pero como sabemos en la realidad las piezas están unidas a través de tornillos, para tener una simulación más confiable se tomaron los contactos

sin penetración, al realizar esto hay que definir en el software a mano cuales son las piezas que podrían llegar a tocarse entre sí, para el caso de las piezas roscadas en el diseño CAD, no se realizaron las roscas debido a que era un tipo de rosca no comercial, sino de precisión óptica, por lo que el tipo de unión que se dio fue rígida para evitar desplazamientos entre las piezas.

Otra consideración en el análisis fue eliminar las dos compuertas del instrumento, así como los bloques que las sujetan, debido a que estas cuatro piezas no brindan rigidez estructural, por lo que el colocarlas solo aumenta el tiempo de simulación.

Para los 3 casos el tamaño del elemento fue de 5 mm utilizando un elemento tetragonal en la siguiente imagen se muestra el mallado del modelo.

Para el mallado de la estructura se utilizó el mismo en los tres casos, se empleó una malla mixta, la cual tiene elementos tetraédricos de 5 mm de tamaño excepto en donde se colocan los tornillos para sujetar las placas y los tornillos que van a la platina del telescopio. Para este caso se buscó que existieran al menos 16 nodos en la circunferencia del barreno como se muestra en la figura 2.17.

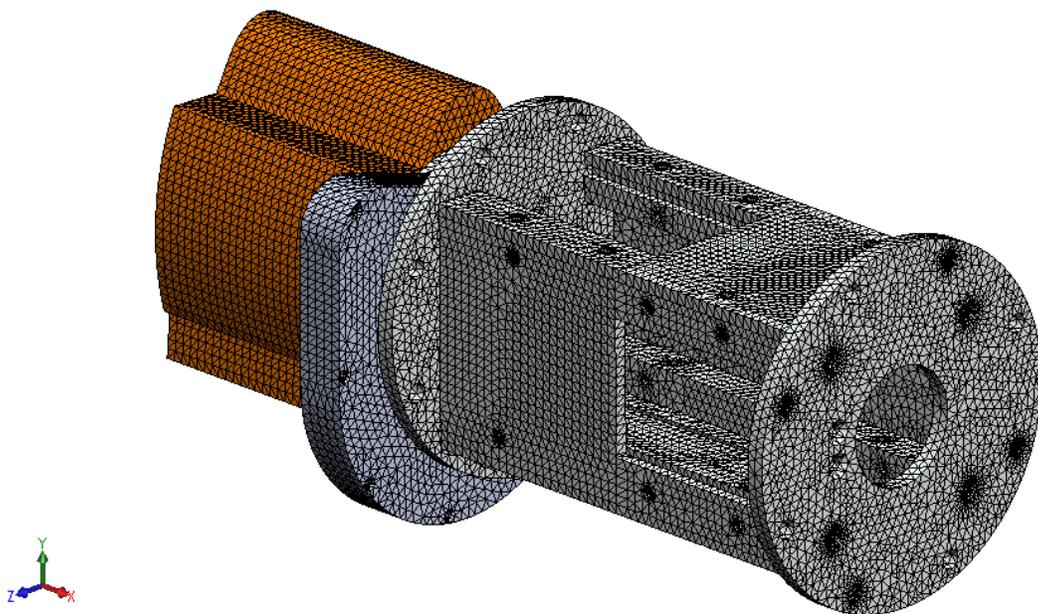


Figura 2.16 Mallado del instrumento completo.

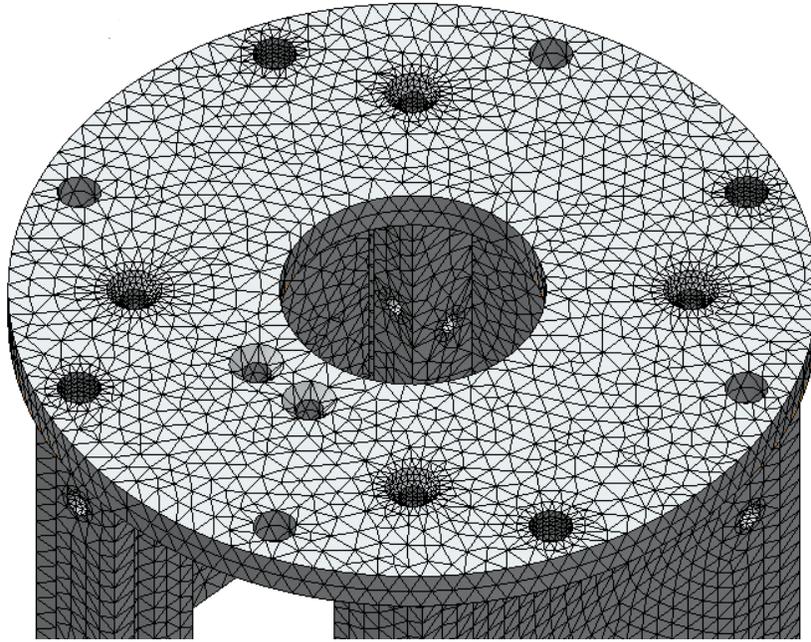


Figura 2.17 Mallado de curvatura en barrenos.

Condiciones de frontera

La unión del instrumento a la platina del telescopio se realiza a través de 4 tornillos, en la figura 2.18 se muestran cuáles son las posiciones en donde se colocan los tornillos en el Instrumento Tohtli, para realizar las simulaciones por elementos finitos, se escogieron 4 barrenos y se les definió que son sujeciones fijas, lo que indica que no tiene desplazamientos ni rotaciones en ninguno de sus ejes.

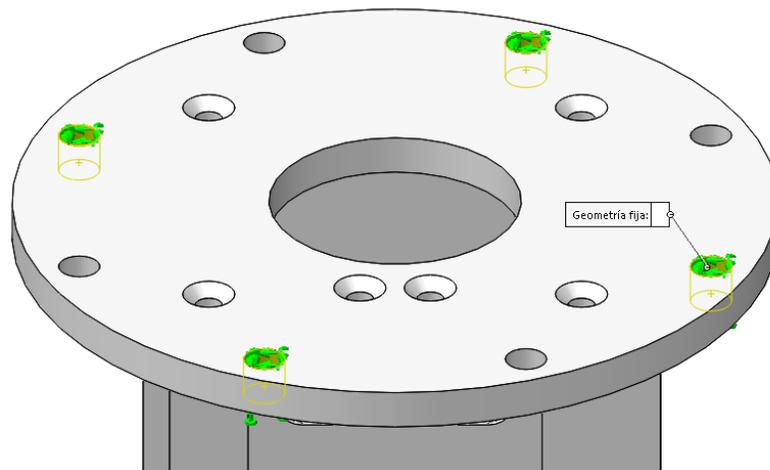


Figura 2.18 Sujeción de Tohtli para FEA.

2.10.1. Caso 1

El primer caso es cuando el instrumento Tohtli se encuentra en a 90 grados que sería al momento de colocarse en el Telescopio, en la figura 2.18. se muestra la posición a la que se analizó además se observa la distribución de esfuerzos de Von Mises, donde las concentraciones mayores son donde se encuentran los pernos sujetos a la platina del telescopio.

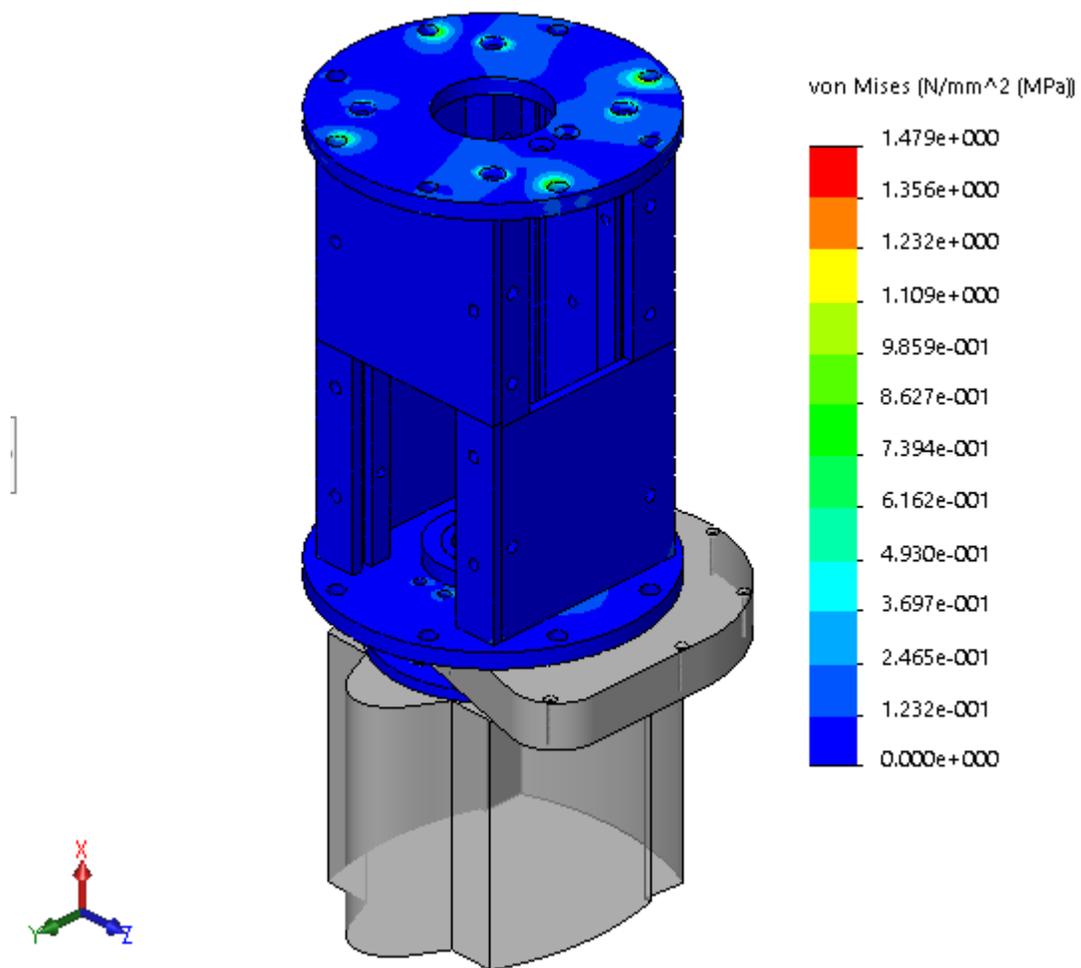


Figura 2.19 Estado de esfuerzos por inclinación de 90 grados.

En la siguiente tabla 2.4 se muestran los resultados de los esfuerzos y cortantes durante la simulación y en la tabla 2.5. los desplazamientos y reacciones del instrumento:

Tabla 2.4 Esfuerzo en el caso a 90 grados

Esfuerzo [MPa]		
	Max	Min
Sin Penetración	1.479	0.0

Tabla 2.5 Desplazamiento en el caso a 90 grados

Desplazamiento [μm]		
	Max	Min
Sin penetración	2.670	0.0

Como se observó en los resultados el esfuerzo máximo que se presenta en la estructura es de 0.901 MPa el cual nos indica que el instrumento no presentara una deformación plástica, además el desplazamiento máximo que sufre es de 1.3 micrómetros.

2.10.2. Caso 2

El segundo caso para analizar es cuando el instrumento se encuentra en una posición completamente horizontal, es decir a 0 grados, esto es similar a lo que es una viga en cantiléver, en la figura 2.19. se observa la distribución de esfuerzos de Von Mises, como podemos observar en la imagen los esfuerzos se concentran en las uniones de las piezas donde van colocados los pernos.

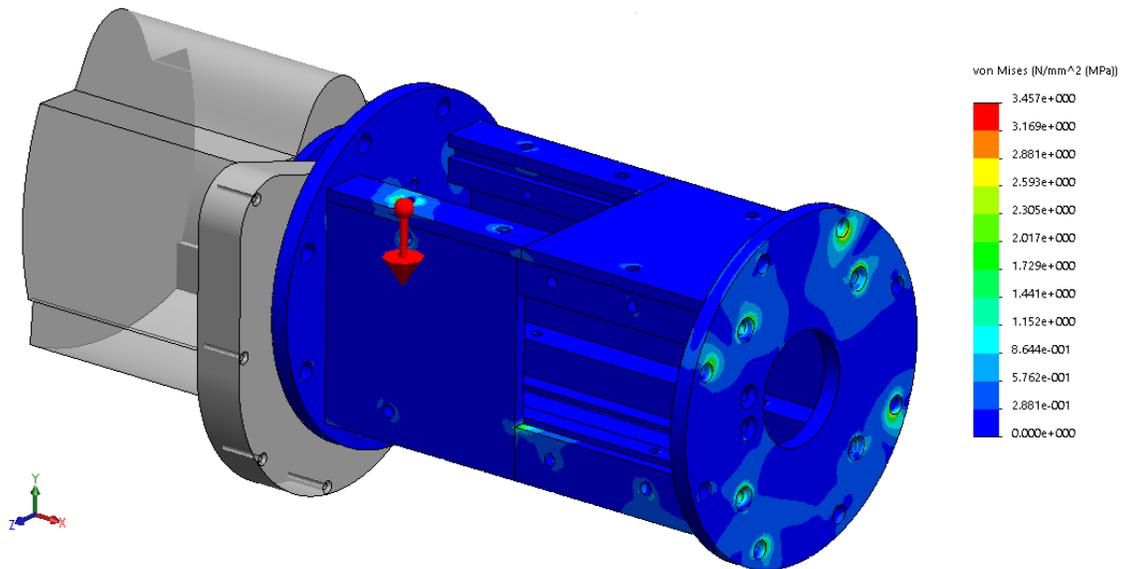


Figura 2.20 Estado de esfuerzos por inclinación de 0 grados.

En la siguiente tabla 2.6. se presentan los resultados de los esfuerzos y cortantes bajo estas condiciones:

Tabla 2.6 Esfuerzo en el caso a 0 grados

Esfuerzo [MPa]		
	Max	Min
Sin penetración	3.457	0.0

En la figura 2.21. se pueden ver como son los desplazamientos y como es de esperarse los mayores desplazamientos se presentan al final del instrumento, también podemos observar que la geometría de la rueda de filtros influye, ya que sus centros de masa no se encuentran alineados, el instrumento tiende a desplazarse más hacia el lado donde se encuentra la rueda de filtros.

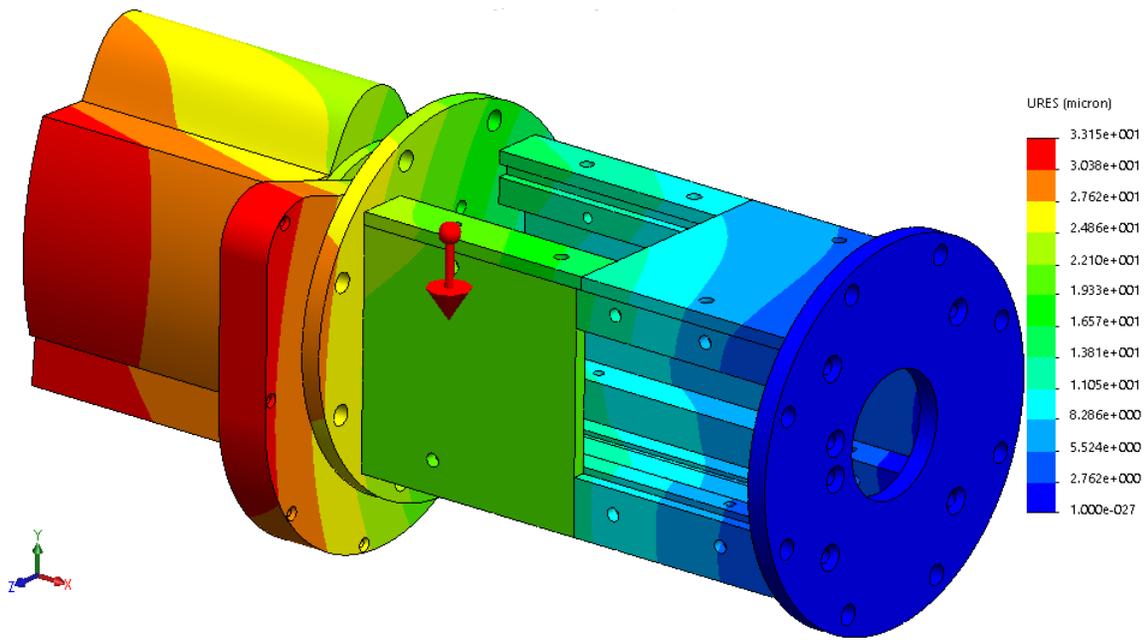


Figura 2.21 Desplazamientos por inclinación de 0 grados.

En la tabla 2.7. vemos los desplazamientos máximos y fuerzas de reacciones que sufre el instrumento:

Tabla 2.7 Desplazamiento en el caso a 0 grados

Desplazamiento [um]		
	Max	Min
Sin Penetración	33.15	0.0

Como se observó en los resultados bajo estas condiciones, el esfuerzo máximo que se presenta es de 5.14 MPa el cual tampoco representa un riesgo a la estructura y el desplazamiento máximo es de 41.66 micrómetros el cual es hasta el final de la estructura, el cual sigue estando dentro de las tolerancias establecidas.

2.10.3. Caso 3

El tercer y último caso es cuando el instrumento se encuentra a 45 grados, en la figura 2.22 se muestra la distribución de esfuerzos de Von Mises y la posición a la que se encuentra el instrumento, similar a los dos casos anteriores los esfuerzos se concentran en las uniones por los pernos.

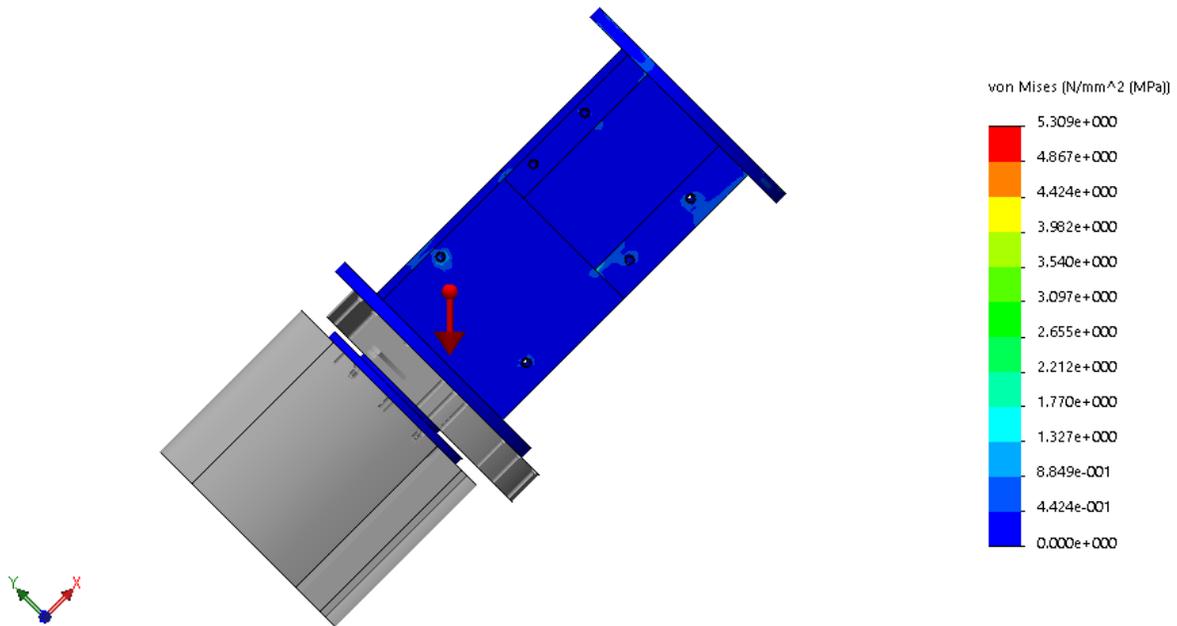


Figura 2.22 Estado de esfuerzos por inclinación de 45 grados.

En la tabla 2.8. se muestran los resultados de los esfuerzos y los cortantes:

Tabla 2.8 Esfuerzo en el caso a 45 grados

Esfuerzo [MPa]		
	Max	Min
Sin Penetración	5.309	0.0

En la figura 2.23. Se muestran los desplazamientos que sufre el instrumento, como se observa en la imagen al igual que los otros casos influyen las geometrías, pero el desplazamiento máximo se encuentra al final.

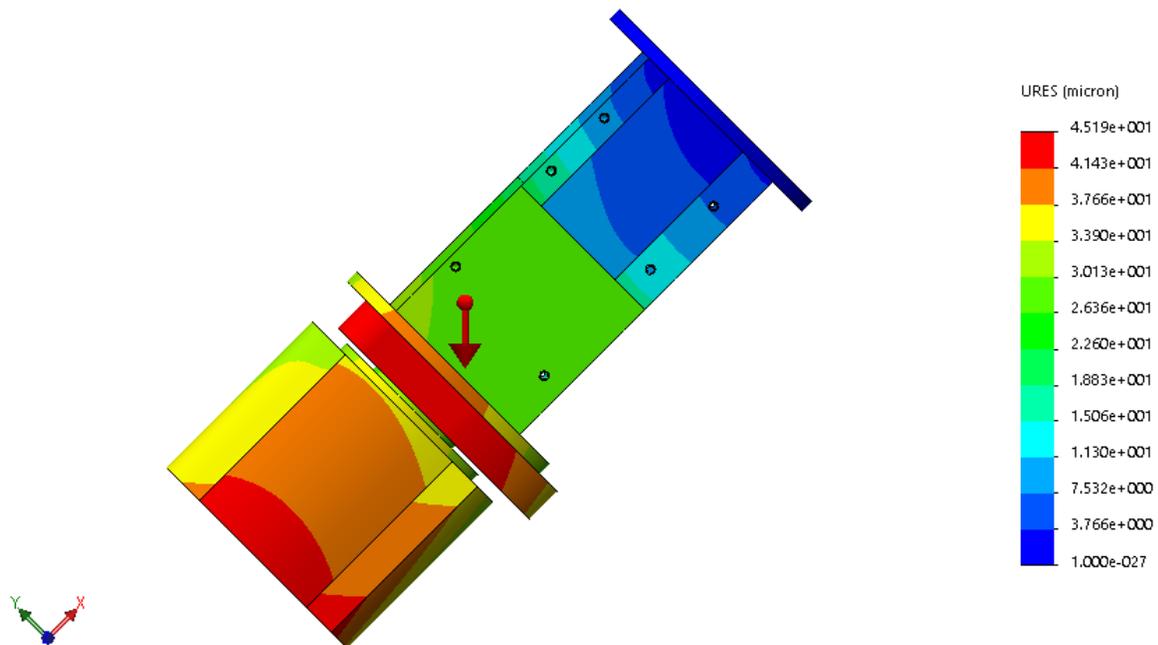


Figura 2.23 Desplazamientos por inclinación de 45 grados.

En la tabla 2.9. se encuentran las fuerzas de reacción y los desplazamientos que sufre el instrumento:

Tabla 2.9 Desplazamiento en el caso a 45 grados

Desplazamiento [um]		
	Max	Min
Sin penetración	45.19	0.0

Como se observó en las tablas el esfuerzo máximo al que se encuentra la estructura es de 5.309 MPa nuevamente esto no indica que el instrumento no tendrá deformación plástica,

para este tipo de instrumentos es vital que los ejes ópticos se encuentren alineados por lo que los desplazamientos son los de mayor importancia, el desplazamiento máximo que sufre el instrumentos al final de todo el sistema que es la parte trasera de la cámara y parte de la rueda de filtros es de 45.19 micrómetros el cual nuevamente se encuentra dentro de las tolerancias.

2.11. Manufactura del prototipo

La manufactura se realizará en dos lugares distintos, uno de estos es la empresa WeMakeet la cual se encuentra ubicada en la colonia Merced Gómez, el otro lugar de manufactura es el taller mecánico del IA-UNAM.

La empresa WeMakeet se encarga de realizar cortes y grabado láser, Router CNC, Diseño y renta de equipo, para nuestro caso solicitamos los servicios de Router CNC, debido a que la empresa WeMakeet cuenta con un Router CNC, el cual consiste en girar una broca o un cortador para recorrer las coordenadas establecidas, esto permite el crear piezas de alta precisión y detalle, por lo que se pueden realizar piezas de ingeniería en 2D, además de desbastes de altura, barrenos y perfilados. La máquina puede funcionar a 24000 rpm y 7 hp por lo que puede cortar con facilidad el aluminio 6061.

En el Instituto de Astronomía ya se contaban con placas de aluminio de $\frac{1}{4}$ de pulgada y 9.5 mm, en dichas placas eran suficientes para todas las piezas, por lo que se decidió utilizarlas en lugar de comprar nuevo material, los espesores de las piezas son los mismos que las placas para disminuir costos de manufactura cortando únicamente las geometrías, se mandaron realizar las piezas a la empresa WeMakeet. Estas piezas eran planas por lo que solo fue necesario el realizar cortes lineales sin geometrías complejas. Para realizar la manufactura fue necesario el proporcionarles un documento dxf. Los archivos con extensión dxf pertenecen a programas de dibujo, sus siglas significan “*drawing Exchange format*”, más específicamente es un archivo de formato vectorial, por lo que puede tener objetos con dimensionamiento asociativo, curvas y texto, por estas características la maquina CNC puede seguir los trazos marcados en el archivo dxf. Debido a que eran dos placas, se les proporcionó dos archivos por separado para indicar que piezas eran de espesores $\frac{1}{4}$ de pulgada y cuáles de 9.5 mm.

Para el resto de las piezas debido a sus geometrías específicas se realizaron en el taller mecánico del Instituto de Astronomía, esto porque había que realizar cortes muy precisos en los 3 ejes, lo que la máquina de la empresa WeMakeet no podía realizarlos. Debido a esto su costo de fabricación es mayor ya que se usan máquinas de control numérico especializadas para alta precisión. La precisión de las maquinas CNC que se encuentran en el Instituto tienen tolerancias de $\pm 20 \mu\text{m}$. También en el Taller Mecánico se realizaron ajustes de algunas piezas manufacturadas en WeMakeet debido a que no cumplían con las tolerancias establecidas, además de quitar los filos de las placas, estos ajustes se detallan en la sección 2.10 Diseño a detalle.



Figura 2.24 Piezas de Tohtli.

Al terminar las piezas y los ajustes pertinentes, las piezas deben anodizarse con acabado negro mate, esto es para que la luz que viene del exterior no afecte a las mediciones con el instrumento, para realizar el anodizado de aluminio es a través de la empresa Luck, la cual es una empresa mexicana fundada en 1978.

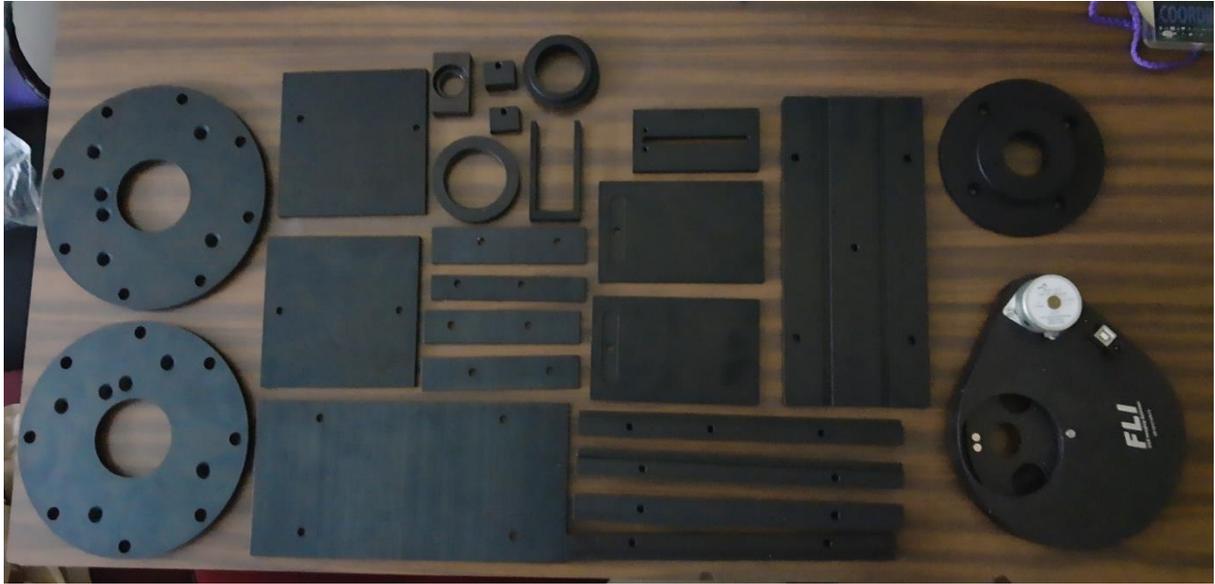


Figura 2.25 Piezas Tohtli anodizado.

2.12. Diseño de detalle.

En esta etapa se realizó la verificación de los componentes una vez manufacturados, en el caso de los componentes que se realizaron a través de la empresa WeMakeet se mandaron al taller mecánico de Instituto de Astronomía debido a que se debían ajustar las piezas.

Las placas no respetaban las tolerancias, normalmente median alrededor de 250 micrómetros extras de cada lado, en las placas laterales no representó un gran problema debido a que durante su ensamble las placas quedaban ajustadas. El inconveniente se presentó en las piezas que permiten el movimiento del objetivo, las cuales son la placa base que tiene los rieles y la pieza que se desplaza sobre estos. Uno de los inconvenientes es que las piezas no se acoplaban entre ellas, y otro es que no estaban centradas las piezas, así que al mandarlas al taller mecánico del IA-UNAM se tuvo que tomar como referencia el centro de la placa y a partir de ahí centrar las piezas para que al momento de colocar el objetivo no estuvieran fuera de foco con el telescopio.

También se mandaron las placas para matar los filos, debido a que el proceso de manufactura que se realiza en la empresa WeMakeet, deja las aristas de las piezas con filo lo que puede provocar un corte en la persona que manipula el instrumento.

Por el mismo problema de que las piezas no cumplían con las tolerancias, las puertas del instrumento no se deslizaban por las barras, así que se mandaron ampliar los carriles de las barras aumentándolos 500 micrómetros de cada cara. Una vez aumentada la medida, las placas se lograron desplazar sin inconvenientes.

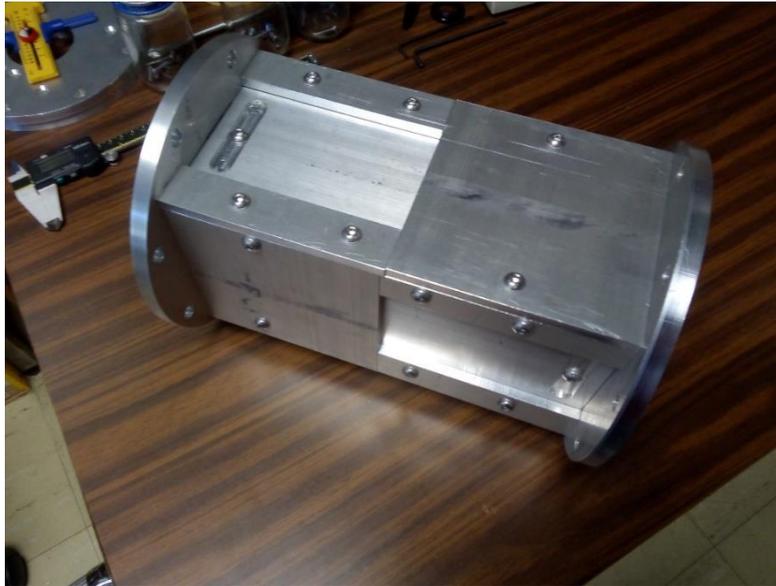


Figura 2.26 Instrumento Tohtli.



Figura 2.27 Instrumento Tohtli con gavetas abiertas.

Capítulo 3 Ensamble e integración

En este capítulo se presenta como se realiza el ensamble mecánico de la estructura, además de cómo se realiza la integración al telescopio de 1 metro ubicado en Tonantzintla Puebla.

3.1. Ensamble mecánico

El ensamble mecánico se realizó en el instituto de astronomía, esto con la finalidad de llevar el instrumento ya ensamblado al telescopio y no evitar imprevistos durante su integración, durante este ensamble se presentaron una serie de inconvenientes por lo que fue necesario el enviar ciertas piezas a realizar ajustes, dichos ajustes se mencionan en la sección 2.6. Diseño de detalle.

Con los ajustes pertinentes al instrumento Tohtli, se realiza el ensamble final corroborando que el instrumento se encuentra listo para ser llevado a Tonantzintla, Puebla. Para el ensamble se utilizan los siguientes tipos de tornillos de acero inoxidable:

Tabla 3.1 Componentes

Componente	Descripción	Cantidad
Tornillo M6	Paso de cuerda 1 mm Longitud: 20	14
Tornillo M6	Paso de cuerda 1 mm Longitud: 7 mm	6
Tornillo M6 Avellanado	Paso de cuerda 1 mm Longitud: 15 mm	12
Tornillo M5	Paso de cuerda 0.8 mm Longitud: 10 mm	4
Tornillo M5	Paso de cuerda 0.8 mm Longitud: 25	1
Tornillo M4	Paso de cuerda 0.7 mm Longitud: 10 mm	2
Tornillo M3 Punta de Nylon	Paso de cuerda 0.5 mm Longitud: 10 mm	3
Tornillo de hombro M5	Paso de cuerda 0.8 mm Longitud: 12 mm	4
Arandela M5	Arandelas para tornillo M5	5
Thumb M5	Tuerca para ajuste a mano	1

Los tornillos deben ir colocados en determinada posición de acuerdo con las características de estos, para mayor detalle ver el anexo 2 en el cual se puede observar el manual para ensamble del instrumento Tohtli, dicho ensamble puede subdividirse en tres subensambles con la finalidad de facilitar su construcción.

3.1.1. Subensamble 1

El primer subensamble es la estructura principal, el primer paso es identificar las barras para acoplarlas con las placas; laterales, frontal y trasera, junto con los cerrojos para las gavetas, los tornillos utilizados en este paso son M6 con cabeza avellanada, en total se utilizan 12 tornillos, es importante no realizar un apriete hasta el final del ensamble. A continuación, en la figura 3.1. se muestra la vista en explosión del subensamble y en la figura 3.2. se muestra el ensamble de la estructura.

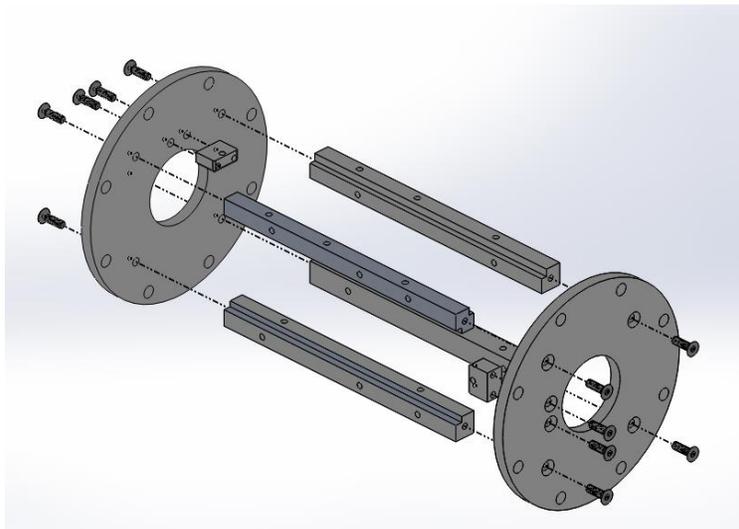


Figura 3.1 Explosión de subensamble 1.

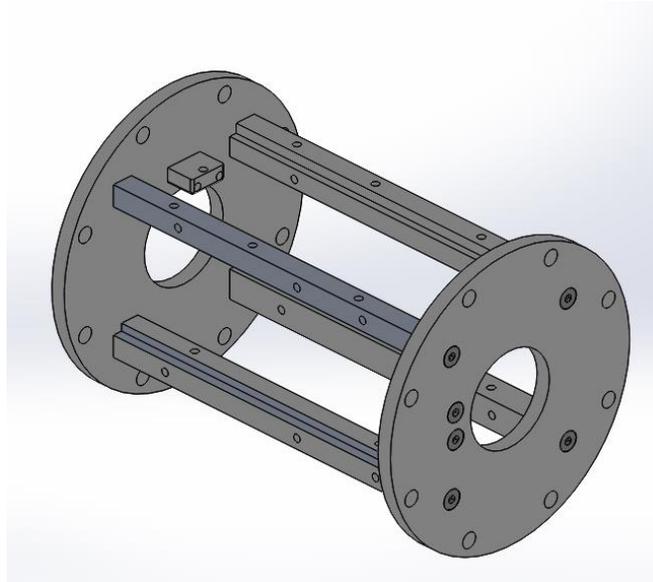


Figura 3.2 Subensamble 1.

3.1.2. Subensamble 2

El segundo subensamble es el armado del sistema que permite el movimiento del objetivo, así como este mismo, este está conformado por la placa base que contiene los rieles, la pieza de movimiento en profundidad, la de movimiento vertical y el porta objetivos, para ellos utilizamos dos tornillos M4, cuatro tornillos de hombro M5, cinco arandelas M5, un tornillo M5 y la tuerca con apriete a mano, a continuación se muestra la figura 3.3 que es la vista de explosión y la figura 3.4 ensamble.

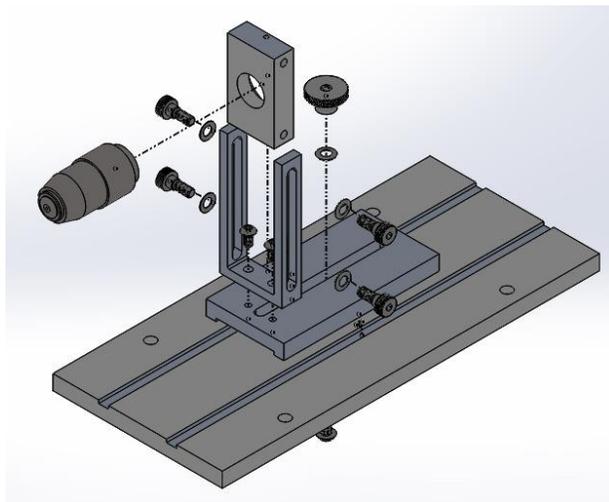


Figura 3.3 Explosión subensamble 2.

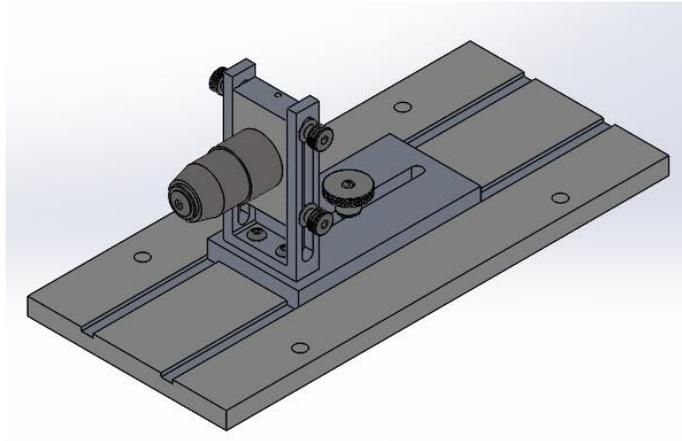


Figura 3.4 Subensamble 2.

3.1.3. Subensamble 3

El tercero subensamble consiste en realizar la unión de la rueda de filtros a las uniones correspondientes en caso de tener la cámara esta también puede acoplarse el sistema, para esto se tiene los tornillos de la cámara los cuales son M5, y para la tuerca de unión solo son necesarios dos tornillos M3 de punta de nylon. A continuación, se muestra en la figura 3.5 la vista en explosión de los componentes y en la figura 3.6 el subensamble.

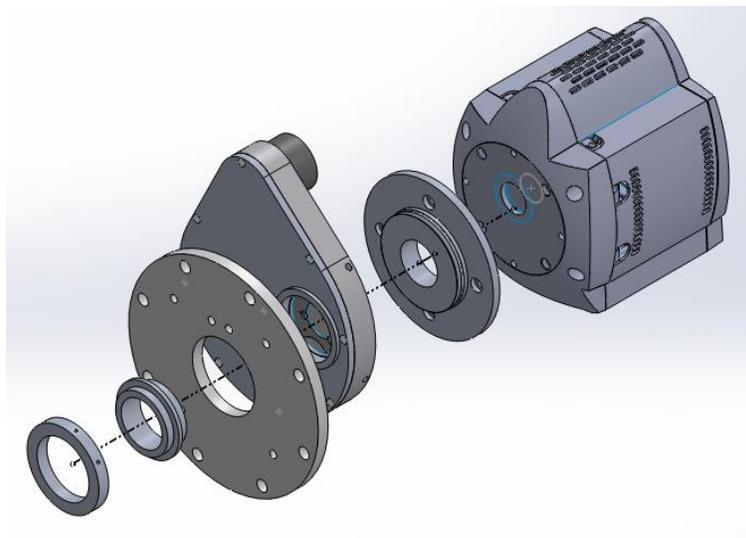


Figura 3.5 Explosión del subensamble 3.

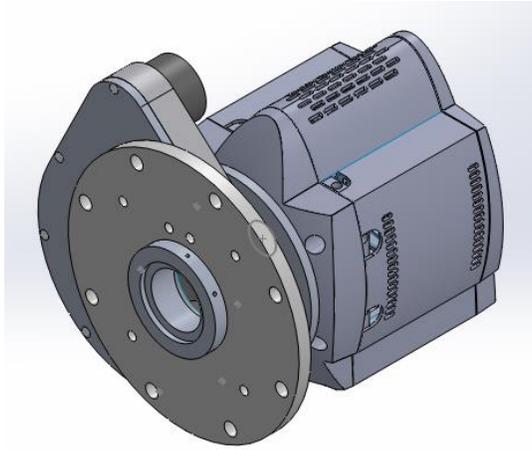


Figura 3.6 Subensamble 3.

3.1.4. Ensamble Final

Al tener estos tres subensambles se pueden colocar las piezas restantes las cuales son las placas de aluminio, para ensamblarlas se utilizan los tornillos de cabeza de botón M6. Para colocar las placas de aluminio hay que identificar las piezas a colocar, esto se explica a detalle en el Anexo 2.

Una vez teniendo los tres subensambles es más sencillo su integración entre ellos, al momento de integrar el instrumento es mejor colocar primero la estructura con los subensambles 1 y 2, para colocar al final la rueda de filtros y cámara. Esto se explica a más detalle en 6.3. Integración al telescopio.

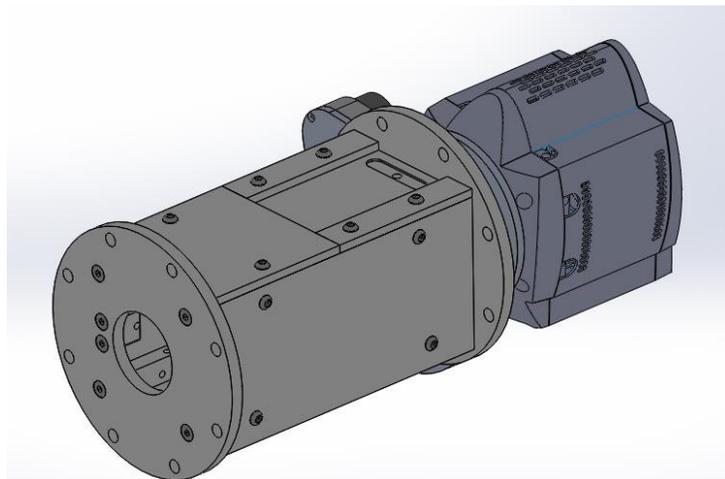


Figura 3.7 Tohtli Ensamble.

Debido a las condiciones climáticas, como se observan en el apartado 2.2. Condiciones generales, en Tonantzintla unos de los periodos más despejados para realizar observaciones astronómicas, es en el mes de noviembre, debido a estas condiciones las pruebas e integración al telescopio se realizó sin el anodizado, una complicación de esto es que se podía reflejar la luz en el interior del instrumento o incluso que entrara la luz del exterior a él, para evitar este inconveniente se decidió cubrir el instrumento por dentro con un material oscuro para evitar el reflejo, realizar esta acción se consideró colocar una cartulina negra entre el objetivo a la placa que sujeta la rueda de filtro y a la placa frontal que va unida a la platina del telescopio, un inconveniente de realizar esto, era que con el movimiento podría soltarse la cartulina ocasionando el paso de la luz a la cámara y afectar las pruebas por lo que se utilizó masking tape color negro.

Para poder adherir el masking tape se limpiaron las piezas de polvo y suciedad, para realizar esto no fue necesario algún proceso químico o el uso de sustancia especiales, simplemente con un paño fue suficiente, para que su adherencia fuera buena, en la figura 3.8. se observa el interior del instrumento Tohtli con el masking tape, en la figura 3.9. se presenta el instrumento forrado.

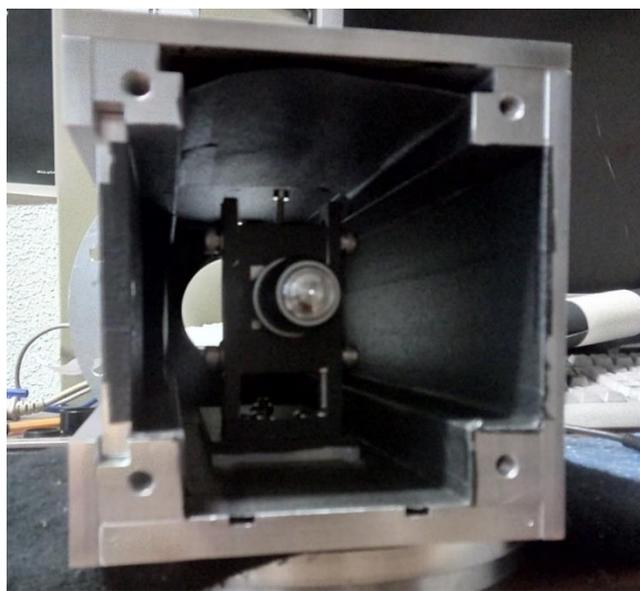


Figura 3.8 Interior del instrumento Tohtli.

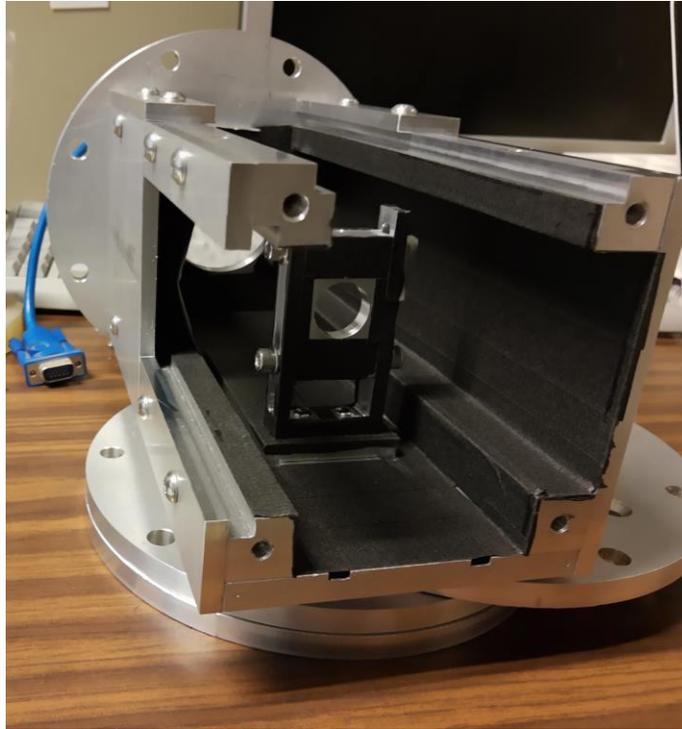


Figura 3.9 Interior de instrumento Tohtli 2.

En la figura 3.10 se observa la parte interna del instrumento debidamente ajustado y calibrado, el cual tiene colocado el objetivo en la parte frontal y el filtro detrás de él.



Figura 3.10 Interior de instrumento Tohtli 2.

3.2. Integración en el telescopio

La integración al telescopio se realizó durante los días 19-21 de noviembre del 2019, en el telescopio de 1 metro ubicado en las instalaciones de la OAN Tonantzintla, Puebla.

El instrumento Tohtli, fue transportado en un maletín para evitar algún daño durante el transporte, dicho instrumento puede entrar por las instalaciones con facilidad, ya que el peso y sus dimensiones se mencionan en el capítulo 4, esto permite que una persona lo levante con una sola mano.

Una vez dentro de la Bóveda del telescopio se procedió a colocarlo en posición, debido a que el instrumento tiene los barrenos para ajustarse al telescopio, no fue necesario utilizar una platina extra. Posteriormente se procedió a la instalación de la cámara en el instrumento, la cual no presentó ningún problema al momento de acoplarse. Para el uso de este tipo de cámaras, es necesario un sistema de enfriamiento, el cual ya estaba diseñado, dicho sistema consiste en una bomba que hace pasar agua a través de la cámara y posteriormente va a un intercambiador de calor. En la figura 3.11 se observa el instrumento ya colocado en el telescopio, así como la rueda de filtros y la cámara.

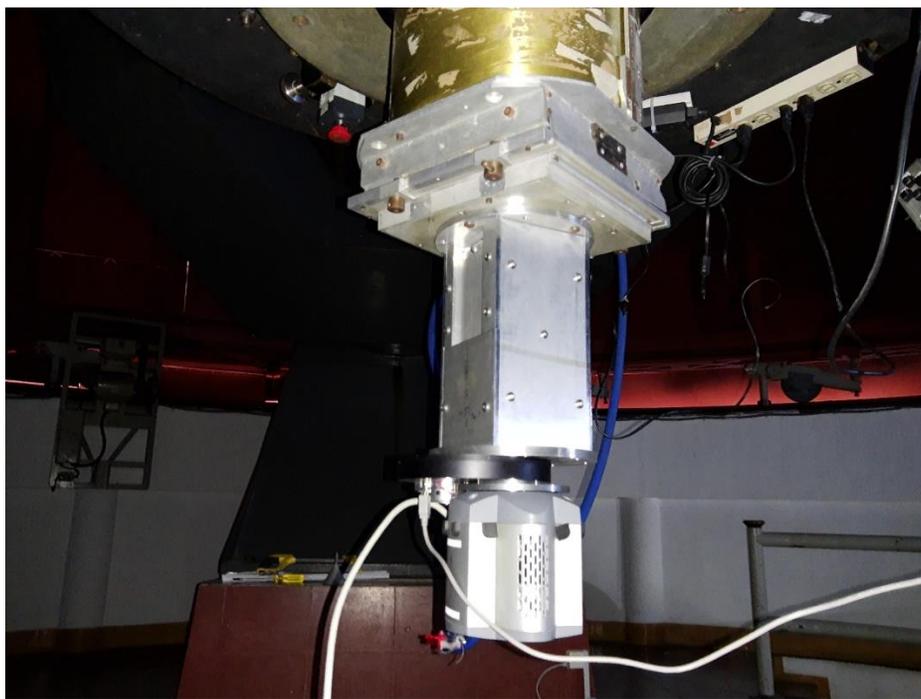


Figura 3.11 Instrumento Tohtli Acoplado en el telescopio.

Posteriormente se instala la computadora dentro de la bóveda del telescopio la cual es controlada remotamente desde la sala de control, que se encuentra debajo de él. De esta manera se puede controlar tanto la cámara como la rueda de filtros con dicha computadora, el telescopio tiene su propio sistema de control, esto se realiza así para evitar modificar los controladores de estos, logrando desacoplar y acoplar sin ningún inconveniente. En la figura 3.12 se observa cada uno de sus componentes mencionados anteriormente ya instalados.

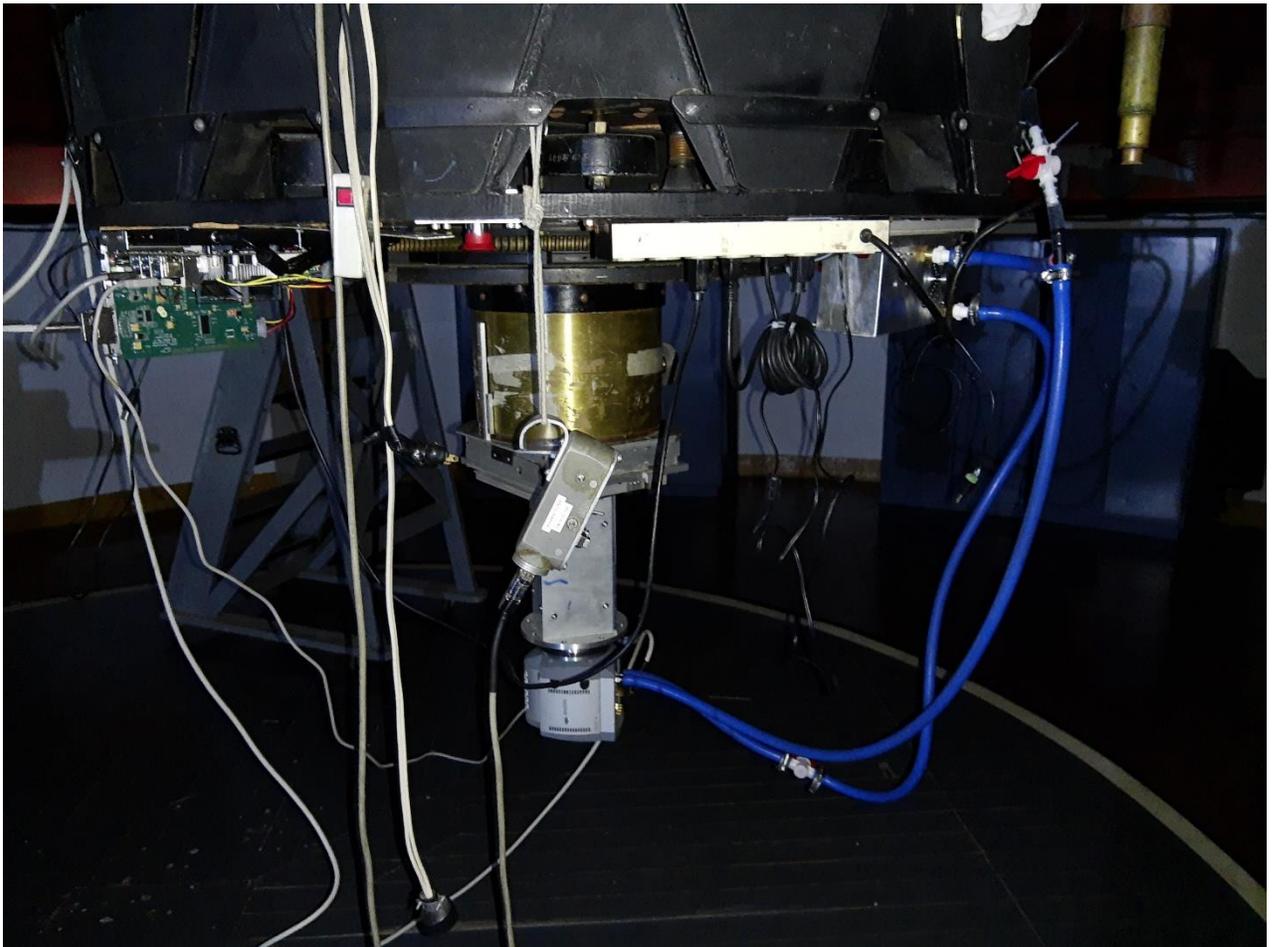


Figura 3.12 Componentes para uso del Instrumento.

Después de la instalación se realizan pruebas de enfriamiento a la cámara para corroborar que funciona el sistema, cabe destacar que constantemente hay que estar revisando el sistema de enfriamiento para evitar que no se detenga y se queme la bomba que tiene integrada, para

esto tiene acoplado un ventilador el cual se puede observar que está girando durante su operación, en caso de que se detenga hay que apagar el sistema.

3.3. Instrumento Tohtli

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el anodizado de aluminio se realizó posterior a las pruebas del instrumento en el telescopio, en las figuras 3.13 y 3.14 se puede observar el instrumento anodizado.

Se comprobó que el instrumento no sufriera alteraciones ocasionado por el anodizado, principalmente en las compuertas que tiene, corroborando que no afecta su desplazamiento, aunque es notorio que es necesario implementar un poco más de presión para realizar su deslizamiento.



Figura 3.13 Instrumento Tohtli Anodizado.



Figura 3.14 Instrumento Tohtli Anodizado 2.

Capítulo 4 Pruebas y Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante las observaciones realizadas, así como los costos del instrumento y las pruebas realizadas previamente a realizas las observaciones astronómicas.

4.1. Diseño asistido por computadora

Al realizar un diseño mecánico, es útil poder dibujar los proyectos atreves de software especializados en diseño, en la actualidad existen varios softwares comerciales para realizar proyectos, una ventaja de realizar esto es que permite disminuir la mayor cantidad de errores posibles antes de realizar su manufactura, debido a que nos permite realizar los dibujos en tres dimensiones logrando plasmar ideas o mejoras a otras versiones anteriores.

Para la realización del instrumento Tohtli, se utilizó el software SolidWorks 2017 versión de estudiantes, a través de este software también se realizaron las simulaciones de elementos finitos como se observan en la sección 2.8 análisis por elementos finitos. También el uso de estos softwares nos permite realizar imágenes para presentación de proyectos o prototipos.

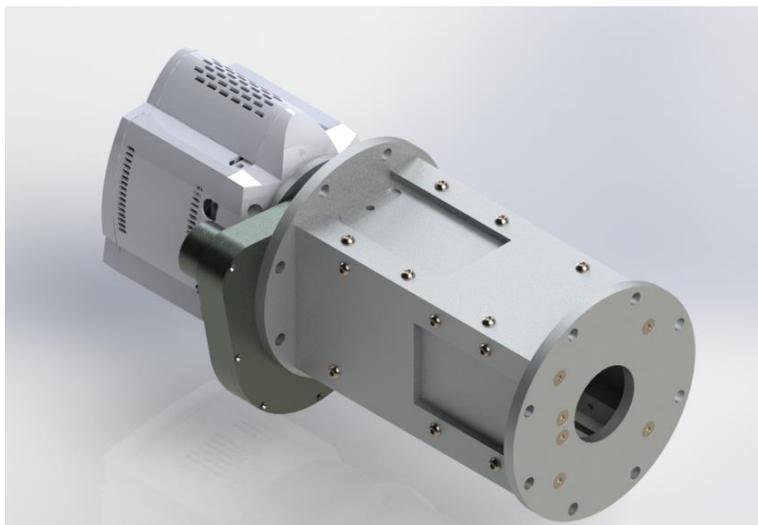


Figura 4.1 Instrumento Tohtli Renderizado.

4.2. Peso del prototipo

El peso es uno de los factores que más influyen al momento de realizar un diseño, debido a que esto es una restricción, para seleccionar materiales o incluso influye en el diseño.

A continuación, se presentan una tabla con los componentes que está conformado Tohtli, en la cual se encuentra el código cada uno, el material o descripción, cantidad, el fabricante y la masa en gramos.

Tabla 4.1 Peso de Tohtli

N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Fabricante	Masa [gr]
1	IXON-888	IXON Ultra 888	1	Andor	3700
2	Tohtli-MEC-RF-CAM	Al-6061	1	IA-UNAM	276.7
3	Tohtli-MEC-RF	CFW1_8R_28mm	1	ANDOR	770
4	Tohtli-MEC-RF-C	Al-6061	1	IA-UNAM	359.8
5	Tohtli-MEC-EST-PS-G4	Al-6061	1	WeMakeet	52.18
6	Tohtli-MEC-EST-PS-M	Al-6061	2	WeMakeet	354.8
7	Tohtli-MEC-EST-PS-G3	Al-6061	1	WeMakeet	52.18
8	Tohtli-MEC-EST-PS-F	Al-6061	1	WeMakeet	249.2
9	Tohtli-MEC-EST-PL2-F	Al-6061	1	WeMakeet	242.7
10	Tohtli-MEC-EST-PL2-G3	Al-6061	1	WeMakeet	38.81
11	Tohtli-MEC-EST-PL2-G4	Al-6061	1	WeMakeet	58.91
12	Tohtli-MEC-EST-PL1	Al-6061	1	WeMakeet	491.1
13	Tohtli-MEC-EST-IF	Al-6061	1	WeMakeet	594.3
14	Tohtli-MEC-EST-PB	Al-6061	1	WeMakeet	661.3
15	Tohtli-MEC-EST-IT	Al-6061	1	WeMakeet	594.3
16	Tohtli-MEC-EST-B1	Al-6061	1	IA-UNAM	207.5
17	Tohtli-MEC-EST-B2	Al-6061	1	IA-UNAM	229.4
18	Tohtli-MEC-EST-B3	Al-6061	1	IA-UNAM	188.4
19	Tohtli-MEC-EST-B4	Al-6061	1	IA-UNAM	207.5
20	Tohtli-MEC-EST-C	Al-6061	1	IA-UNAM	10.23
21	Tohtli-MEC-RF-T	Al-6061	1	WeMakeet	46.84
22	Tohtli-MEC-RF-U	Al-6061	1	IA-UNAM	46.02
23	Tohtli-MEC-OP-VR	Al-6061	1	IA-UNAM	20.84
24	Tohtli-MEC-OP-SP2	Al-6061	1	IA-UNAM	37.57
25	Tohtli-MEC-EST-C2	Al-6061	1	IA-UNAM	16.4
26	Tohtli-MEC-OP-OB	Estándar M20	1	Edmun Optic	35
27	Tohtli-MEC-OP-HR	Al-6061	1	IA-UNAM	99.88
				TOTAL	8695

Como observamos en la tabla el instrumento tiene un peso aproximado de 8.69 kg, esto considerando el peso de la cámara y la rueda de filtros, le peso únicamente de la estructura fue de aproximadamente 4.2 Kg.

4.3. Requerimientos

Los requerimientos se presentaron en el capítulo 2. En la siguiente tabla se presentan los resultados del cumplimiento de los requerimientos.

Tabla 4.2 Cumplimientos de los requerimientos

Requerimientos	¿Se logro cumplir?
El telescopio, el objetivo, la cámara y la rueda de filtros deben estar alineados en todo momento.	Sí
El objetivo se debe poder desplazar tanto horizontal como verticalmente.	Sí
El objetivo debe permanecer fijo en la posición establecida en todo momento de su operación.	Sí
Se debe poder acceder al interior del instrumento sin necesidad de desarmar el instrumento.	Sí
Debe ser capaz de soportar cambios de posición.	Sí
Deformaciones menores del rango de micrómetros.	Sí
El telescopio no debe sufrir ninguna alteración.	Sí
Debe ser del menor peso posible.	Sí
Ensamble debe realizarse en menos de 2 horas.	No
El instrumento debe soportar las condiciones ambientales, así como evitar la corrosión para un uso en otro momento.	Sí

4.4. Costos

Los costos de un proyecto son importantes debido a que esto nos permite recrear un instrumento, o incluso nos marca limitantes al momento de realizar un diseño, esto porque hay que contemplar la manufactura, los materiales, etcétera. Para el proyecto Tohtli el componente más caro es la cámara, pero debido a que ya se contaba con ella no se contempla en los costos del proyecto, así como la rueda de filtros o el objetivo, ya que estos ya se encuentran en el Instituto de astronomía, debido a que han sido utilizados para otros proyectos, en la siguiente tabla 4.3. se muestran el costo de manufactura al realizar el proyecto.

Algunas de las piezas se realizaron en el taller mecánico del IA-UNAM para contemplar el precio de manufactura se considera en horas de trabajo hombre con un costo de 250 pesos por hora, para la realización de las piezas fueron un aproximado de 25 horas de trabajos y contemplando la infraestructura, lo que es equivalente al uso de máquinas y herramientas tiene un costo total de 250 pesos.

Tabla 4.3 Costos de manufactura

	Precio (\$)
WeMakeet	13000
IA-UNAM (25 horas)	6250
Infraestructura	250
Tornillería	100
Anodizado	600
Total	20,200

Como se observa en la tabla, la realización del instrumento tuvo un gasto aproximado de 20,200 pesos mexicanos.

4.5. Pruebas realizadas

Para poder realizar las pruebas en el telescopio es necesario revisar las condiciones del clima, como la humedad, velocidad del viento, cielo despejado, etcétera. En Tonantzintla, Puebla cuentan con su estación meteorológica y una serie de sensores, lo cuales indican dichos datos.

Uno de los factores más importantes es el de humedad, el cual se pueden realizar observaciones con el límite de 80-85 por ciento de humedad en el exterior siempre y cuando no haya condensación por lo que hay que estar revisando constantemente para evitar algún daño al telescopio, para corroborar que no haya condensación era necesario el salir del observatorio para revisar las superficies y que estas no presenten rastros de este fenómeno.

Durante las dos noches de observación, el primer día no se logró observar nada debido a que el cielo estaba nublado, por lo que no se podían observar estrellas. Para la segunda noche hubo cielo despejado, y las condiciones de humedad estaban en el límite permitido y no había condensación, por lo que se podían realizar observaciones por un periodo aproximado de 3 horas.

Al momento de empezar las observaciones se tuvo que calibrar el telescopio debido a que no se recibía ninguna imagen, por lo que para realizar esto se selecciona una estrella al azar y se pretende ajustar el foco del telescopio para poder observarla. Una vez realizado esto, se pudieron efectuar las primeras observaciones astronómicas.

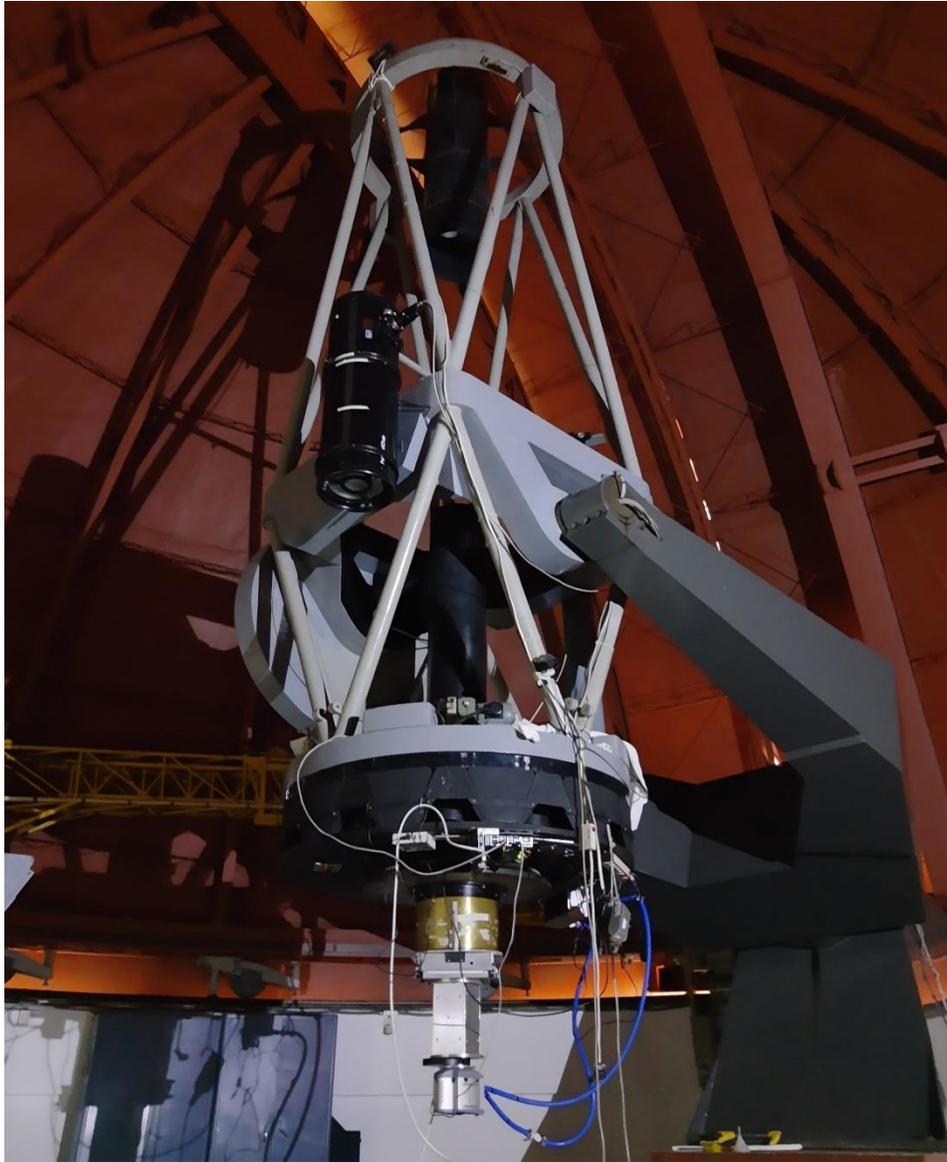


Figura 4.2 Telescopio 1 m y el instrumento Tohtli.

Durante la integración y en la parte de pruebas en el telescopio, se logró observar algunos cambios que se pueden realizar al instrumento, principalmente en el subsistema que soporta el objetivo y los filtros.

4.6. Observaciones realizadas en el telescopio

Durante las observaciones realizadas en Tonantzintla Puebla, se observó la estrella binaria WDS 21441+2845, dicha estrella presenta clases espectrales F6V y G2V dicha clasificación es explicada en la sección 1.9, tiene una separación de 1.6 segundos de arco, y sus magnitudes son de 4.75 y 6.18 respectivamente. Las tomas se realizaron con el interferómetro Tohtli y un filtro óptico V.

Para estos datos se tomaron una serie de 2000 fotografías en la siguiente imagen podemos observar una de estas 2000 tomas realizadas con el instrumento Tohtli.

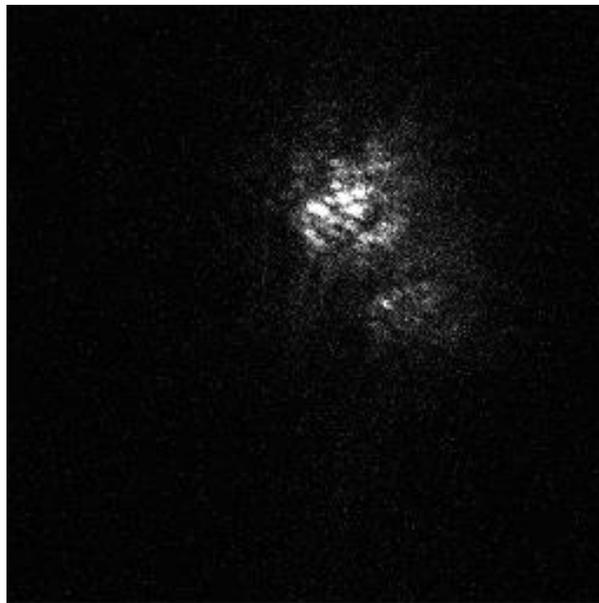


Figura 4.3 Toma de estrella binaria WDS 21441+2845.

Como se menciona en el capítulo 1, el método de interferometría consiste en realizar varias fotografías a una estrella en cuestión de segundos, para posteriormente realizar la suma de estas imágenes, obteniendo una imagen como la que se muestra en la figura 4.4 esta imagen es la suma de 2000 tomas realizadas a la estrella binaria mencionada anteriormente.

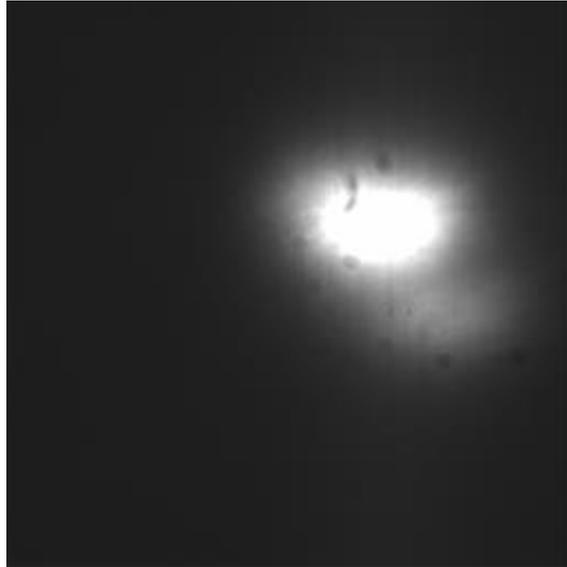


Figura 4.4 Suma de 2000 imágenes.

El espectro de potencia de la estrella se puede observar en la figura 4.5

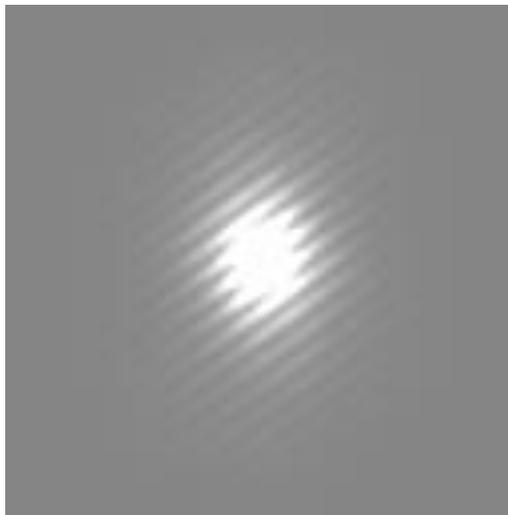


Figura 4.5 Espectro de potencia.

Una vez realizado el análisis de datos obtenidos con el Instrumento Tohtli se obtienen imágenes de alta resolución como se muestra en la figura 4.6 la imagen conseguida durante

las pruebas realizadas el 19 al 21 de noviembre del 2019 en el telescopio de 1 metro, corresponde a la estrella binaria WDS 21441+2845.

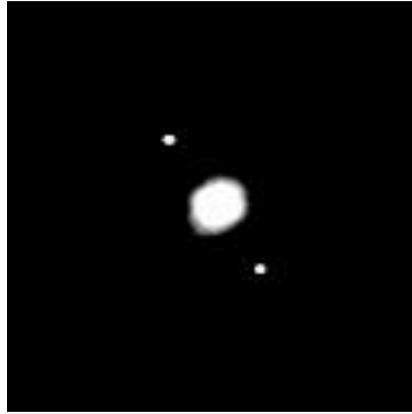


Figura 4.6 Imagen de alta resolución.

Capítulo 5 Conclusiones

En este capítulo se presentan las perspectivas a futuro del instrumento y las conclusiones de este trabajo.

5.1. Perspectivas a futuro

Durante la implementación del instrumento Tohtli al Telescopio, al momento de calibrar el instrumento se puede percatar que es posible realizar algunas modificaciones al instrumento, uno de estos es como realizar el desplazamiento vertical, esto es debido a que solo cuenta con una compuerta del lado izquierdo y para realizar dicho movimiento dos de los tornillos de hombro quedan del otro lado ocasionando que sea complicado el acceso a ellos por lo que dificulta su calibración.

Una propuesta para mejorar el diseño y así mejorar el desplazamiento se muestra en la figura 5.1 Propuesta de mejora para desplazamientos del objetivo:

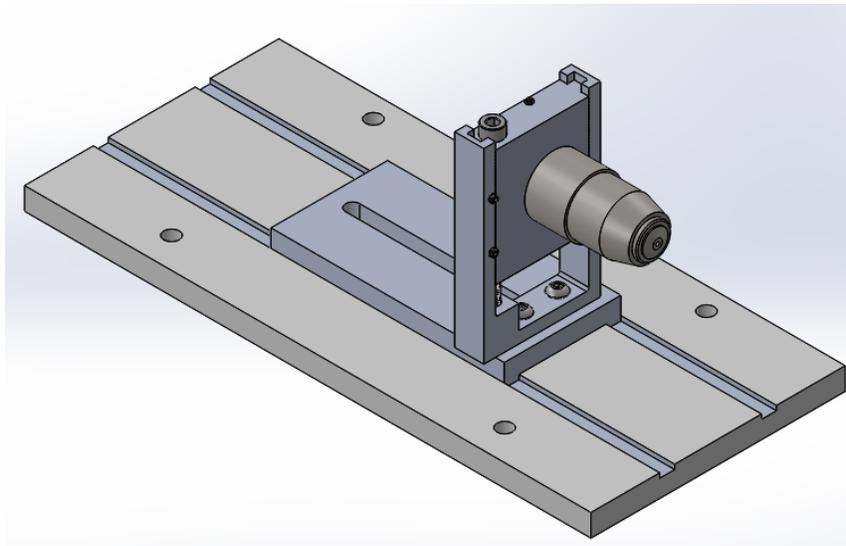


Figura 5.1 Sistema de desplazamiento de objetivo.

El mecanismo consiste en colocar un tornillo el cual va fijo a la base, pero permite su giro, lo que ocasiona que el porta objetivos suba o baje de acuerdo con el giro del tornillo, eso a la

vez nos permite tener una mayor precisión al momento de calibrar y se encuentra cerca de la compuerta de acceso por lo que le facilita al usuario su manipulación, para evitar que se descalibre debido a la vibración se colocaran dos tornillos con punta de nylon los cuales al hacer el apriete evitan su movimiento.

Para evitar el movimiento o incluso la flexión del tornillo ambas piezas tienen un sistema similar a los rieles de un tren esto para evitar su movimiento en otra dirección que no sea sobre la señalada anteriormente. Para esta propuesta solo es necesario el cambio de dos piezas y no afecta la estructura ni otro componente.

5.2. Conclusiones

Como se mencionó en los capítulos anteriores se logró realizar un instrumento el cual mantiene alineados el telescopio, una rueda de filtros, una cámara y un objetivo que se coloca dentro de él. Se realizó su integración en el telescopio de Tonantzintla Puebla, realizando las pruebas pertinentes, donde todo funcionó correctamente, logrando obtener imágenes de estrellas binarias corroborando que su funcionamiento fuese correcto.

El diseño del instrumento cumplió con las especificaciones y requerimientos que se establecieron en el Capítulo 2, realizar el acoplamiento al telescopio es de manera sencilla y rápida, no es necesario el uso de herramienta compleja, también el montaje de la cámara y la rueda de filtros, así como su desmontaje es sencillo, durante las pruebas realizadas no presento ningún inconveniente.

El instrumento puede ser acoplado a otro tipo de telescopios, donde solo es necesario realizar una pieza que acople a la platina, sin necesidad de modificar la integridad del telescopio o la del instrumento.

Antes de la manufactura se realizaron simulaciones por el método de elementos finitos con la finalidad de simular las condiciones de cargas a las que estaría sometido, en este caso solo la gravedad y así tener la certeza que las deformaciones que tiene el instrumento fuera a ocasionar una falla o un inconveniente al momento de tomar las imágenes, en dichas simulaciones mostraron que el instrumento no tendría deformaciones por encima de 50

micrómetros, estando dentro de las tolerancias pertinentes con 5.5 como factor de seguridad, además mostro que no tendrá deformación plástica debido a que el esfuerzo máximo es de 5.309 [MPa].

Las placas que conforman la estructura que cubre Tohtli, fueron manufacturadas de forma simple y rápida a través de una maquina CNC por parte de la empresa WeMakeet, en cuanto al resto de las piezas se realizaron en el IA-UNAM en maquinaria convencional por lo que su manufactura no es costosa y rápida de realizar en caso de querer replicar el modelo.

Cabe destacar que el instrumento funciona correctamente para realizar la interferometría de motas, como observamos en sección 4.5 donde se muestra la imagen de la estrella binaria WDS 21441+2845, el cual es el objetivo principal del instrumento, logrando comprobar estos con los datos recabados durante 19 al 21 de noviembre del 2019.

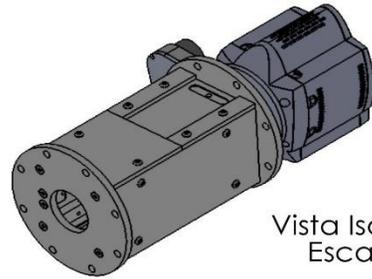
Bibliografía

- [1]. **Gómez, A. Arcelia.** *Diseño y manufactura en la instrumentación astronómica: Interferómetro de motas.* México : Facultad de Ingeniería, UNAM, 2007.
- [2]. **Vázquez R., Ricardo.** *Reingeniería, manufactura y pruebas de aceptación del instrumento de interferometría de motas, Tohtli para el Observatorio Astronómico Nacional.* México : Facultad de Ingeniería, UNAM , 2011.
- [3]. **Granados, R.** *Diseño optomecánico e integración del interferómetro de motas Berkut a telescopios clase 1 metro.* México : Facultad de Ingeniería, UNAM , 2014.
- [4]. **Instituto de Astronomía, UNAM.** Acerca de la Astronomía en México. [En línea] http://www.astroscu.unam.mx/IA/index.php?option=com_content&view=article&id=577&Itemid=237&lang=es.
- [5]. **Archivo Histórico de la UNAM .** Observatorio Astronómico Nacional . [En línea] <http://www.ahunam.unam.mx:8081/index.php/observatorio-astronomico-nacional-2>.
- [6]. **Instituto de Astronomía, UNAM.** Historia de los Observatorios de Tonantzintla. [En línea] http://www.astroscu.unam.mx/IA/index.php?option=com_content&view=article&id=859&catid=44&lang=es.
- [7]. **Instituto de Astronomía, UNAM.** Observatorio Astronómico Nacional Tonantzintla Puebla. [En línea] <http://www.astroscu.unam.mx/Tonantzintla/>.
- [8]. El Observatorio Astronómico Nacional, SPM. [En línea] <http://www.astrossp.unam.mx/indexspm2011.html> .
- [9]. **Villamiel G., Pedro.** *Fundamentos de los telescopios para aficionados.* Madrid : Agrupación Astronómica de Madrid, 2015.
- [10]. **Revista Educativa.** Partes del telescopio. [En línea] 2017. <https://www.partesdel.com/telescopio.html>.
- [11]. **Olmes, Bisi.** *Visible and Invisible.* Italia : Springer, 2011.
- [12]. **Rodríguez Z., Gustavo.** *Apuntes de Interferometría Óptica Contemporánea.* Universidad Autónoma de Puebla : Laboratorio de interferometría, 2001.

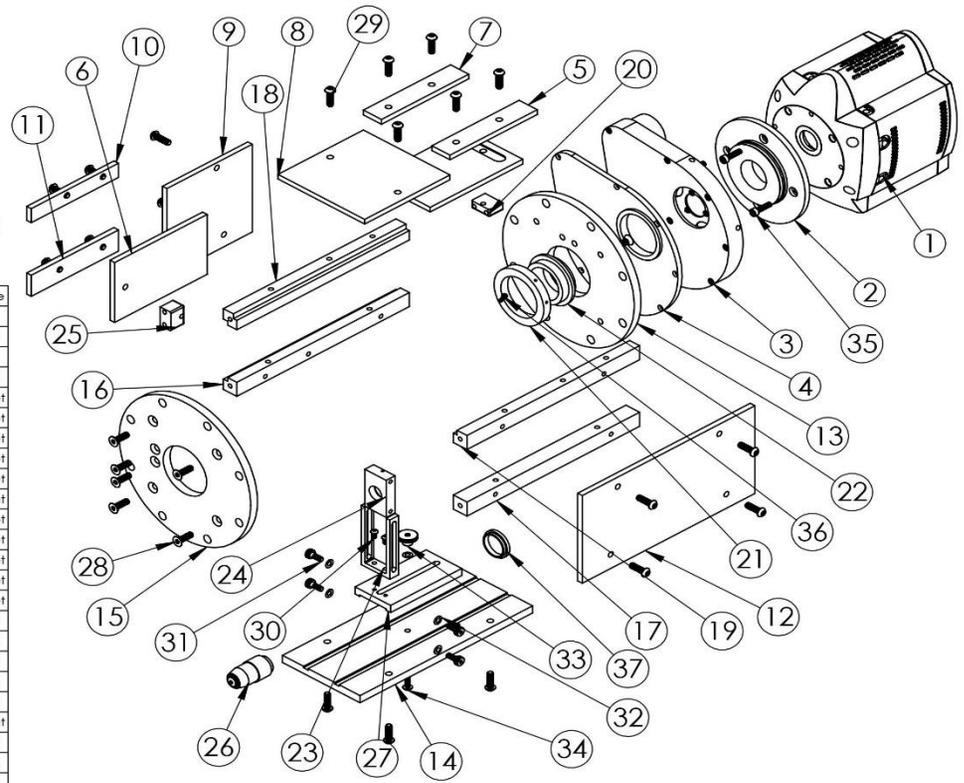
- [13]. **Sisniega L., Liliana A.** *Sintonizado de frecuencias Pasa-Bandas con dispositivos Optoelectrónicos en el rango de los Gigahertz*. Puebla : Universidad de las Américas, 2007.
- [14]. **Glindemann, A.** *Principles of Stellar Interferometry* . Berlín Heidelberg : Springer , 2011.
- [15]. **Rodríguez, Luis.** El nacimiento de las estrellas. UNAM. [En línea] http://www.astrosmo.unam.mx/~luisfr/nacimiento_de_las_estrellas.pdf.
- [16]. **Redacción National Geographic** . ¿Qué sabes de las estrellas? [En línea] 19 de octubre de 2012. <https://www.nationalgeographic.es/espacio/que-sabes-de-las-estrellas>.
- [17]. **Echeverría R., Juan.** *Estrellas Binarias*. México : Ciencia, 2009.
- [18]. **S. J., Arthur.** *Astrofísica Estelar*. Centro de radioastronomía y astrofísica : UNAM, 2012.
- [19]. **PERSEO, Agrupación Astronómica.** Las estrellas, Clasificación espectral. [En línea] 27 de agosto de 2016. <https://astroperso.org/2016/08/27/las-estrellas-clasificacion-espectral/>.
- [20]. **Alumitran, AV.** El anodizado de aluminio . [En línea] 23 de junio de 2017. <https://www.avalumitran.com/nuestros-procesos-a-fondo-el-anodizado-de-aluminio/#prettyPhoto> .
- [21]. **Beltrán M., Abraham M.** *Estudio sobre el proceso de anodizado de aluminio y de una aleación Al-Mg-Si*. México : Facultad de Ingeniería, UNAM, 2014.
- [22]. **Wheather Spark.** El clima promedio en San Andrés Cholula México. [En línea] 2 de diciembre de 2019. <https://es.weatherspark.com/y/6736/Clima-promedio-en-San-Andr%C3%A9s-Cholula-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- [23]. **Finger Lakes Instrumentation** . Color Filter Wheels. [En línea] <http://www.flicamera.com/cfw/index.html>.

Anexo 1

Planos Tohtli



Vista Isometria
Escala 1:7

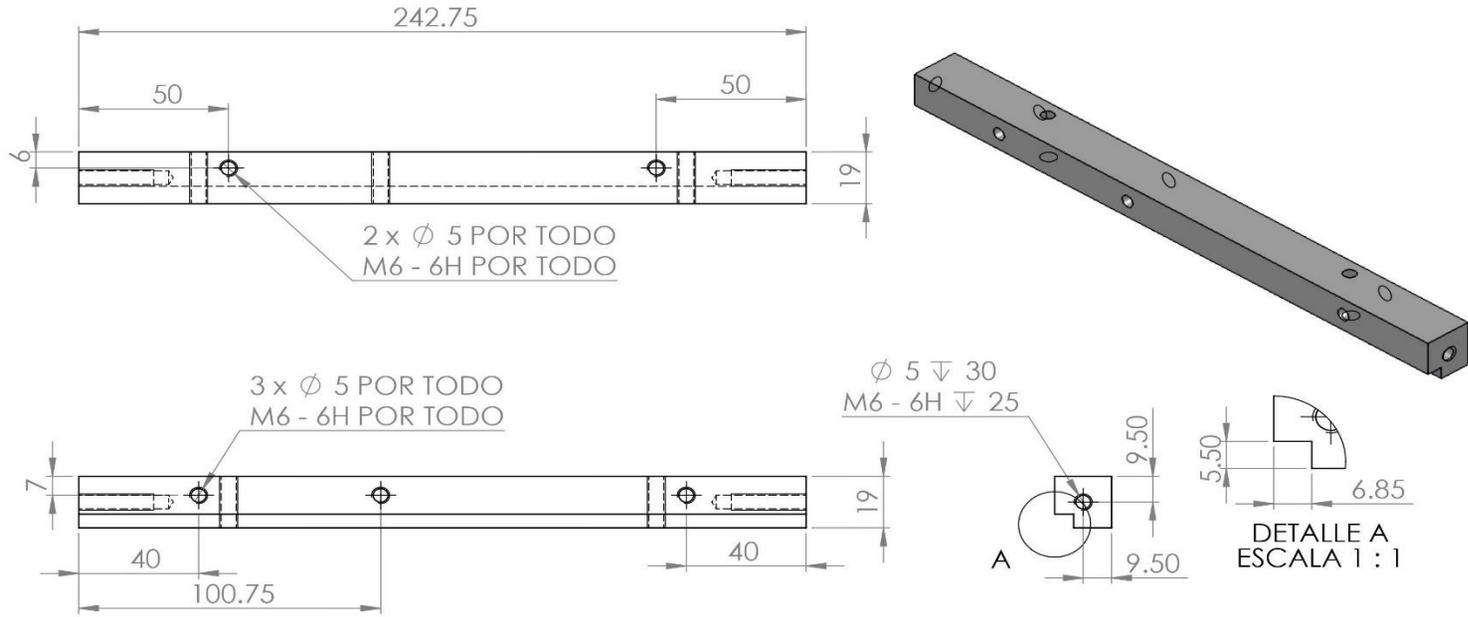


N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Fabricante
1	IXON-888	IXON Ultra 888	1	Andor
2	Tohtli-MEC-RF-CAM	Al-6061	1	IA-UNAM
3	Tohtli-MEC-RF	CFW1_8R_28mm	1	ANDOR
4	Tohtli-MEC-RF-C	Al-6061	1	IA-UNAM
5	Tohtli-MEC-EST-PS-G4	Al-6061	1	WeMakeet
6	Tohtli-MEC-EST-PS-M	Al-6061	2	WeMakeet
7	Tohtli-MEC-EST-PS-G3	Al-6061	1	WeMakeet
8	Tohtli-MEC-EST-PS-F	Al-6061	1	WeMakeet
9	Tohtli-MEC-EST-PL2-F	Al-6061	1	WeMakeet
10	Tohtli-MEC-EST-PL2-G3	Al-6061	1	WeMakeet
11	Tohtli-MEC-EST-PL2-G4	Al-6061	1	WeMakeet
12	Tohtli-MEC-EST-PL1	Al-6061	1	WeMakeet
13	Tohtli-MEC-EST-IF	Al-6061	1	WeMakeet
14	Tohtli-MEC-EST-PB	Al-6061	1	WeMakeet
15	Tohtli-MEC-EST-IT	Al-6061	1	WeMakeet
16	Tohtli-MEC-EST-B1	Al-6061	1	IA-UNAM
17	Tohtli-MEC-EST-B2	Al-6061	1	IA-UNAM
18	Tohtli-MEC-EST-B3	Al-6061	1	IA-UNAM
19	Tohtli-MEC-EST-B4	Al-6061	1	IA-UNAM
20	Tohtli-MEC-EST-C	Al-6061	1	IA-UNAM
21	Tohtli-MEC-RF-T	Al-6061	1	WeMakeet
22	Tohtli-MEC-RF-U	Al-6061	1	IA-UNAM
23	Tohtli-MEC-OP-VR	Al-6061	1	IA-UNAM
24	Tohtli-MEC-OP-SP2	Al-6061	1	IA-UNAM
25	Tohtli-MEC-EST-C2	Al-6061	1	IA-UNAM
26	Tohtli-MEC-OP-OB	Objetivo Plan 40/0.65	1	Edmun Optic
27	Tohtli-MEC-OP-HR	Al-6061	1	IA-UNAM
28	Tohtli-MEC-EST-TR-FLAT-SCREW-M6	M6 x 1 mm, L-20 mm	12	McMaster
29	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M6	M6 x 1 mm, L-20 mm	20	McMaster
30	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M4	M4 x 0.70 mm, L-8 mm	2	McMaster
31	Tohtli-MEC-EST-TR-SHOULDER-M5	6 mm S-Diam, L-4 mm, M5 x 0.8 mm	4	McMaster
32	Tohtli-MEC-EST-TR-BELLEVILLE-M5	5 mm S-Diam, T-0.4 mm	5	McMaster
33	Tohtli-MEC-EST-TR-ROUND-THUMB-M5	M5 x 0.8 mm	1	McMaster
34	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M5	M5 x 0.8 mm, L-25 mm	1	McMaster
35	Tohtli-MEC-EST-TR-CAP-SCREW-M5	M5 x 0.8 mm, L-20 mm	4	McMaster
36	Tohtli-MEC-EST-TR-CAP-SCREW-M3	M3 x 0.5 mm, L-10 mm	1	McMaster
37	Tohtli-MEC-OP-FL	Filtro	1	Edmun Optic

ESCALA 1:6	TOLERANCIA ± 0.100	 TMP INSTRUMENTACIÓN - CU	 Instituto de astronomía
MATERIAL: Aluminio			
DIM: mm	NOM	FECHA	NOMBRE: Ensamble PROY: Tohtli <small>(Info Proy: Valor Orto)</small>
DISEÑADO	DZ	28/08/2019	
DIBUJADO	DZ	08/11/2019	
AUTORIZADO	AF	08/11/2019	
APROBADO	VO	08/11/2019	
FABRICACIÓN	IA-UNAM	08/11/2019	CANT: 01
COMENTARIOS: XXXX			
		CÓDIGO: Plano-AS-Tohtli-MEC-ES-EXP-FINAL	
		HOJA	1 24
		EDICIÓN:	1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Detalle A	Manufactura	Ampliar canal para que permita el movimiento de placa PS-M, se cambio la medida marcada en el el detalle A	28/10/2019



ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL: Aluminio		
DIM: mm	NOM	FECHA
DISEÑADO	DZ	28/08/2019
DIBUJADO	DZ	08/11/2019
AUTORIZADO	AF	08/11/2019
APROBADO	VO	08/11/2019
FABRICACIÓN	IA-URJAM	04/10/2019
COMENTARIOS: XXXX		



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

Barra 1

CANT: 01

AX

PROY:

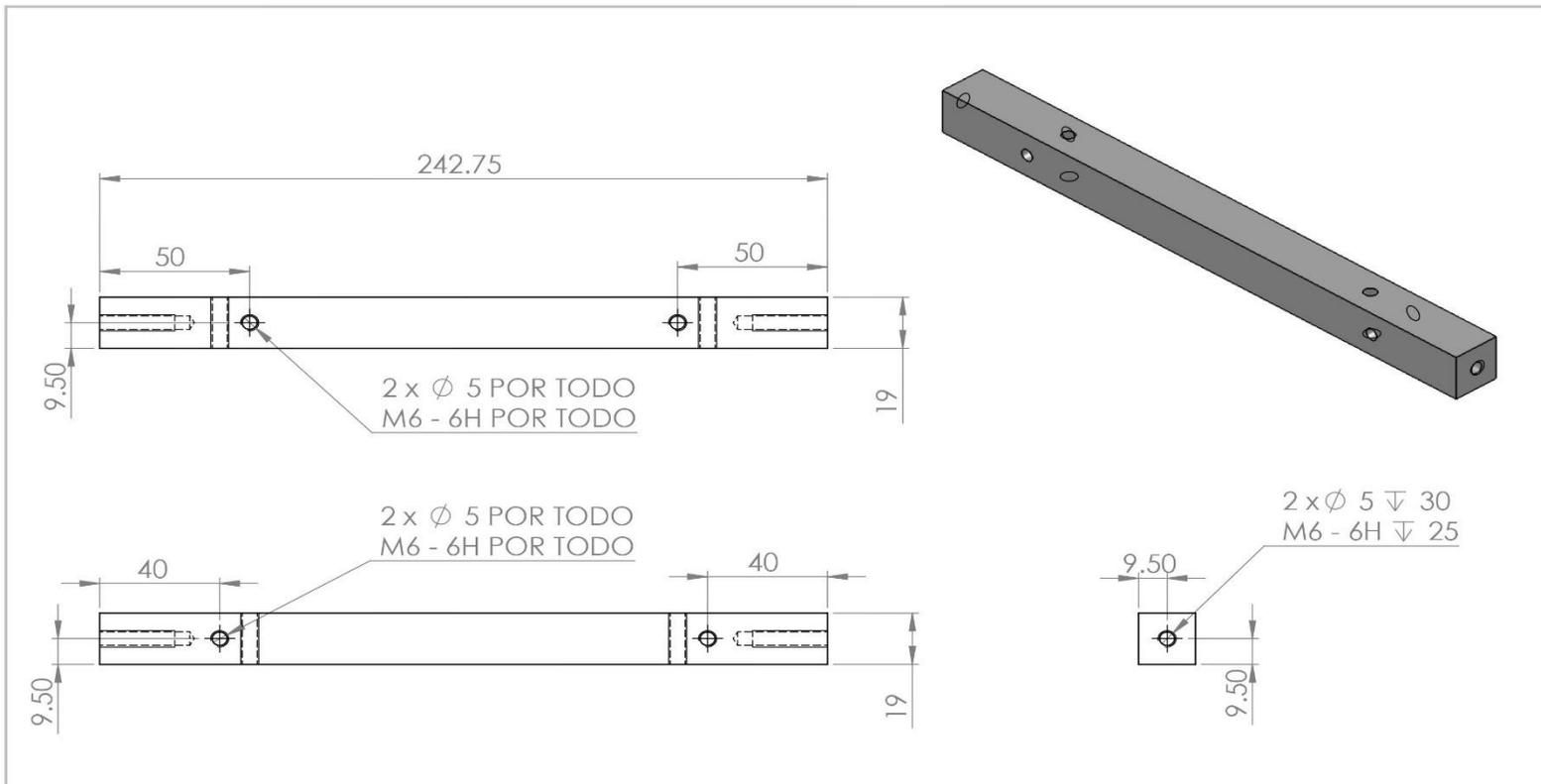
Tohtli

[Jefe Proy: Valent Cortés]

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-B1

HOJA 2 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



ESCALA 1:2		TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL: Aluminio			
DIM: mm	NOM	FECHA	
DISEÑADO	DZ	28/08/2019	
DIBUJADO	DZ	08/11/2019	
AUTORIZADO	AF	08/11/2019	
APROBADO	VO	08/11/2019	
FABRICACIÓN	IA-URIAM	04/10/2019	
COMENTARIOS: XXXX			



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

Barra 2

CANT: 01

AX

PROY:

Tohtli



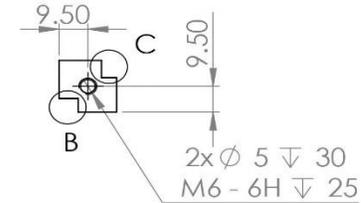
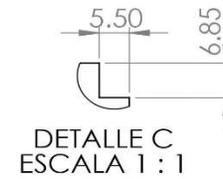
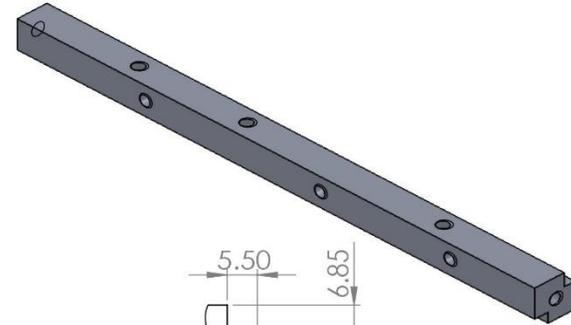
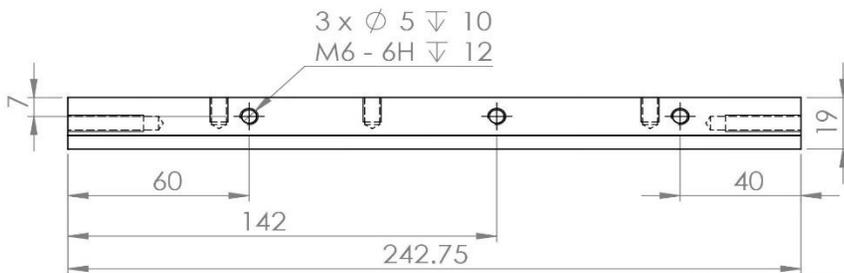
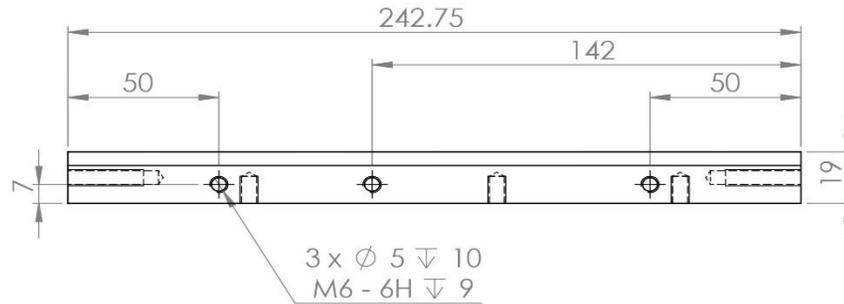
(Info Proy: Valer Orlov)

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-B2

HOJA 3 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Plano	Manufactura	Se cambio plano de Barra	11/10/2019
Detalle B y C	Manufactura	Ampliar canal para que permita el movimiento de placa PS-M, se cambio la medida en el detalle B y C	28/10/2019



ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100
MATERIAL: Aluminio	
DIM: mm	NOM FECHA
DISEÑADO	DZ 28/08/2019
DIBUJADO	DZ 08/11/2019
AUTORIZADO	AF 08/11/2019
APROBADO	VO 08/11/2019
FABRICACIÓN	IA-URIAM 08/11/2019
COMENTARIOS: XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

Barra 3

CANT: 01

AX

PROY:

Tohtli



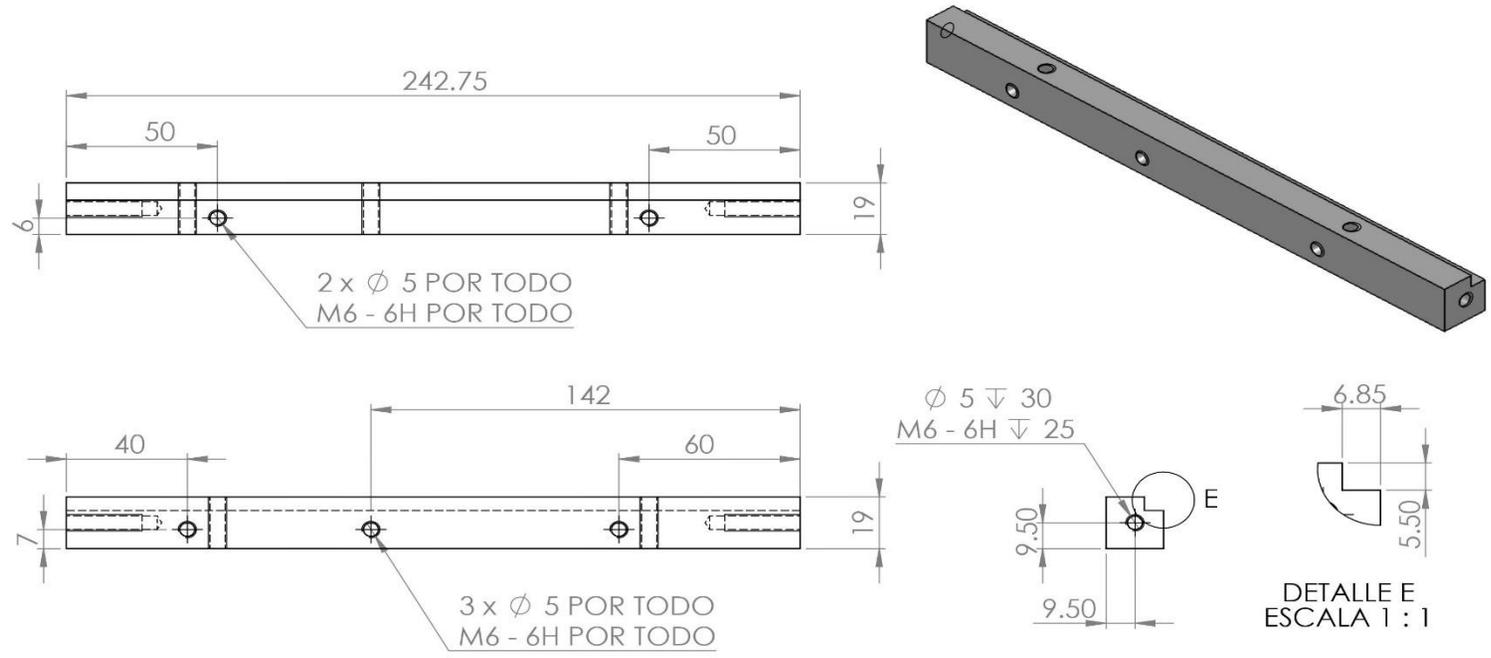
[Jefe Proy: Valter Oñov]

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-B3

HOJA 4 24 EDICIÓN: 1 V. 3.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Detalle E	Manufactura	Ampliar canal para que permita el movimiento de placa PS-M, se cambio la medida en el detalle E	28/10/2019



ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL: Aluminio		
DIM: mm	NOM	FECHA
DISEÑADO	DZ	28/08/2019
DIBUJADO	DZ	08/11/2019
AUTORIZADO	AF	08/11/2019
APROBADO	VO	08/11/2019
FABRICACIÓN	IA-URIAM	05/10/2019
COMENTARIOS: XXXX		



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:
Barra 4

CANT: 01

AX

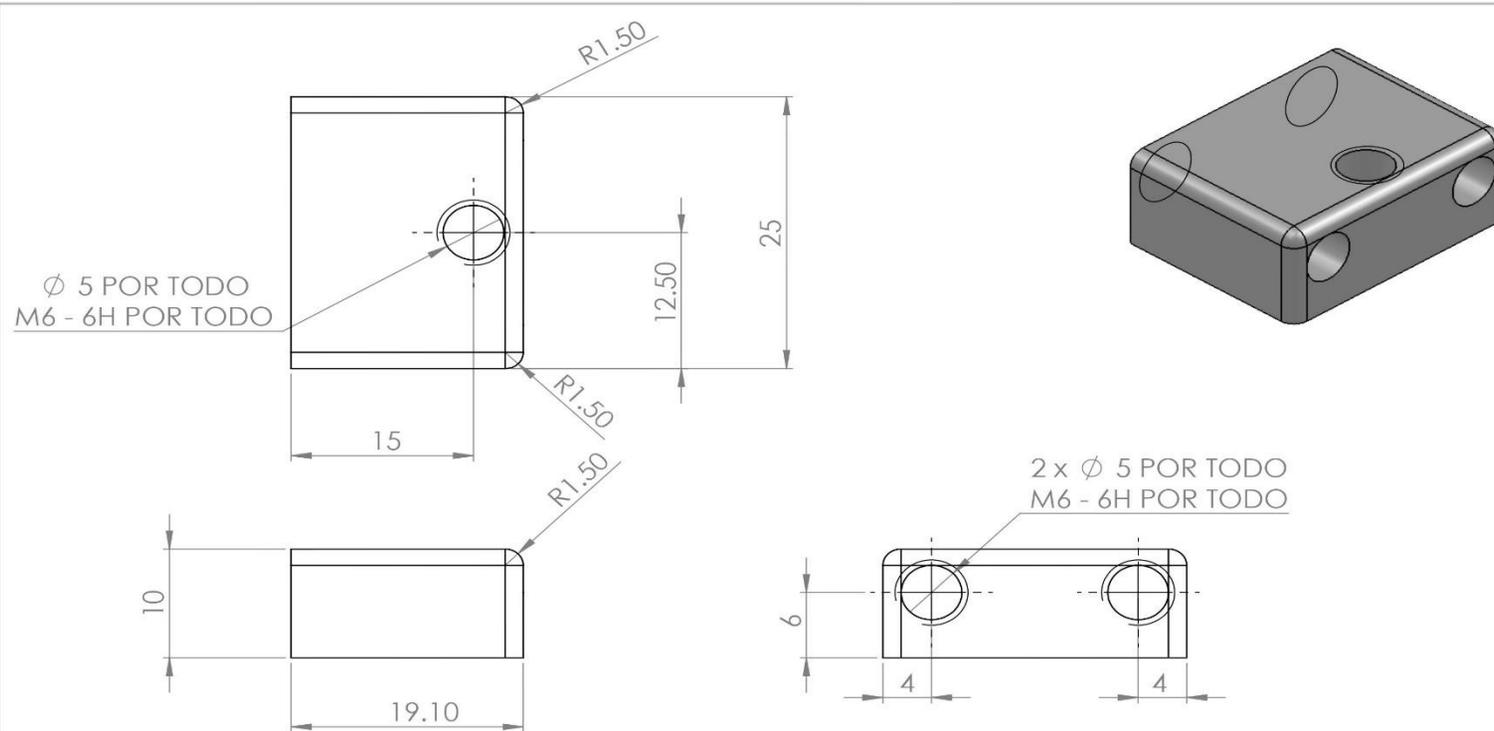


PROY:
Tohtli

(Info Proy: Valent Orlov)

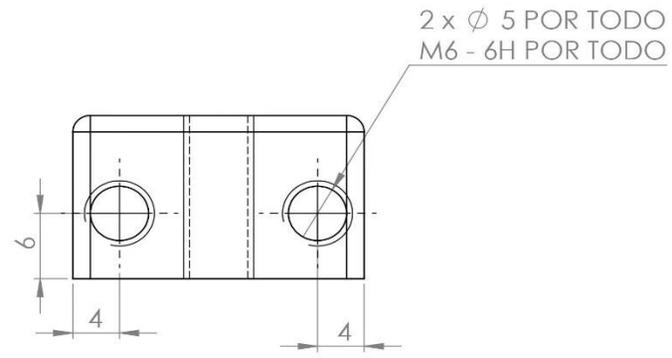
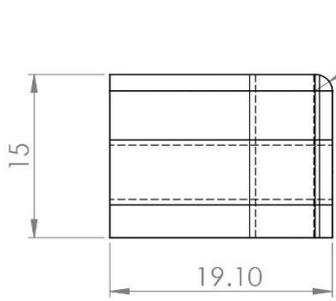
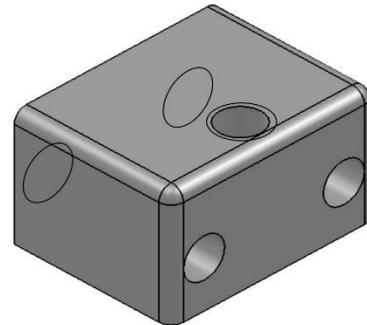
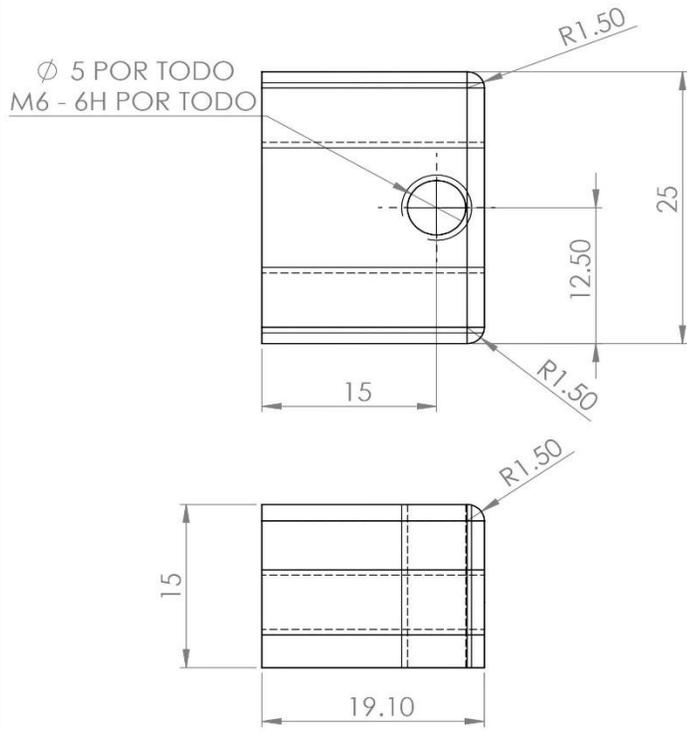
CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-B4	HOJA: 5 24	EDICIÓN: 1	V. 2.0
----------------------------------	-------------------	-------------------	---------------

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



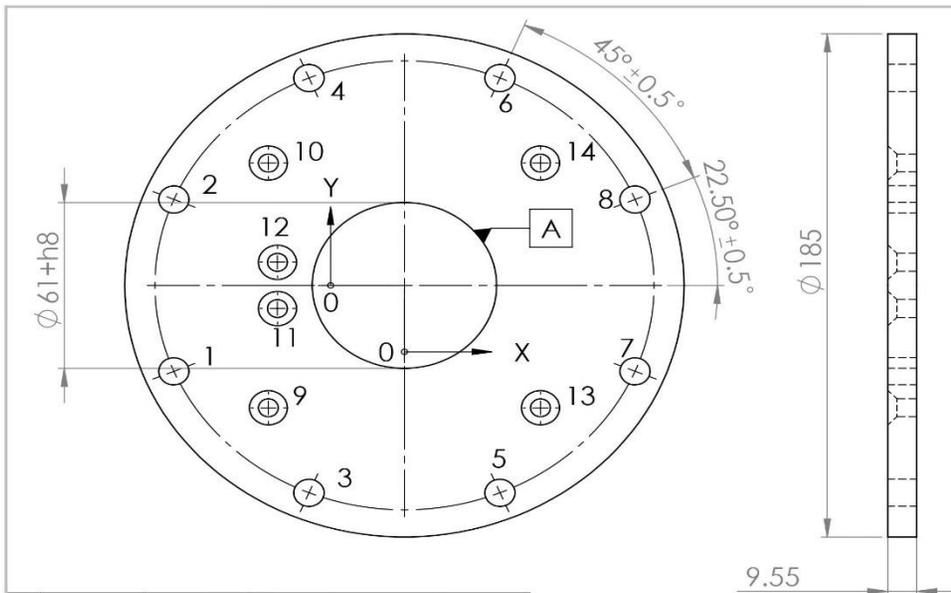
ESCALA 2:1		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU	
MATERIAL: Aluminio						
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: <h2 style="text-align: center;">Chapa 1</h2>		
DISEÑADO	DZ	28/08/2019				
DIBUJADO	DZ	08/11/2019				
AUTORIZADO	AF	08/11/2019				
APROBADO	VO	08/11/2019				
FABRICACIÓN	IA-UNAM	07/10/2019		CANT: 01		
COMENTARIOS: XXXX				PROY: Tohtli		
				<small>[Info Proy: Valeri Orlow]</small>		
				CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-C		HOJA 6 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

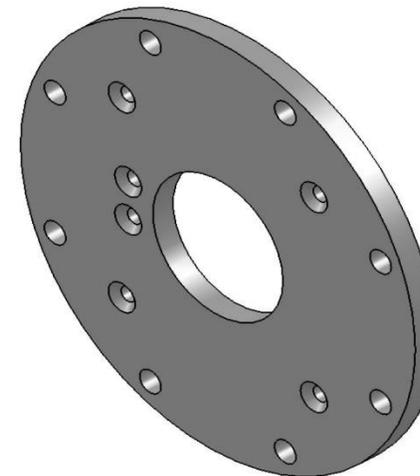


ESCALA 2:1		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU			
MATERIAL: Aluminio								
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Chapa 2				
DISEÑADO	DZ	28/08/2019						
DIBUJADO	DZ	08/11/2019						
AUTORIZADO	AF	08/11/2019						
APROBADO	VO	08/11/2019						
FABRICACIÓN	IA-UNAM	07/10/2019		PROY: Tohtli				
COMENTARIOS: XXXX								
				AX	CANT: 01			
					[Refer Proy: Volant Ordov]			
				CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-C2	HOJA: 7	24	EDICIÓN: 1	V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
A	Manufactura	Reajuste del Diametro interno que permita el paso de la pieza Tohtli-MEC-RF-U	23/10/2019
Aristas	Manufactura	Matar filos	25/10/2019



No.	X	Y	TAMAÑO
1	-76.27	-31.59	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
2	-76.27	31.59	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
3	-31.59	-76.27	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
4	-31.59	76.27	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
5	31.59	-76.27	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
6	31.59	76.27	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
7	76.27	-31.59	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
8	76.27	31.59	ϕ 8.50 POR TODO M10 - 6H POR TODO
9	-45	-45	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°
10	-45	45	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°
11	-42	-8.50	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°
12	-42	8.50	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°
13	45	-45	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°
14	45	45	ϕ 6.60 POR TODO ϕ 12.60 X 90°

ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100
MATERIAL: Aluminio	
DIM: mm	NOM FECHA
DISEÑADO	DZ 28/08/2019
DIBUJADO	DZ 08/11/2019
AUTORIZADO	AF 08/11/2019
APROBADO	VO 08/11/2019
FABRICACIÓN	WetMakcel 08/11/2019
COMENTARIOS: XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

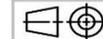
Placa Frontal

CANT: 02

AX

PROY:

Tohtli

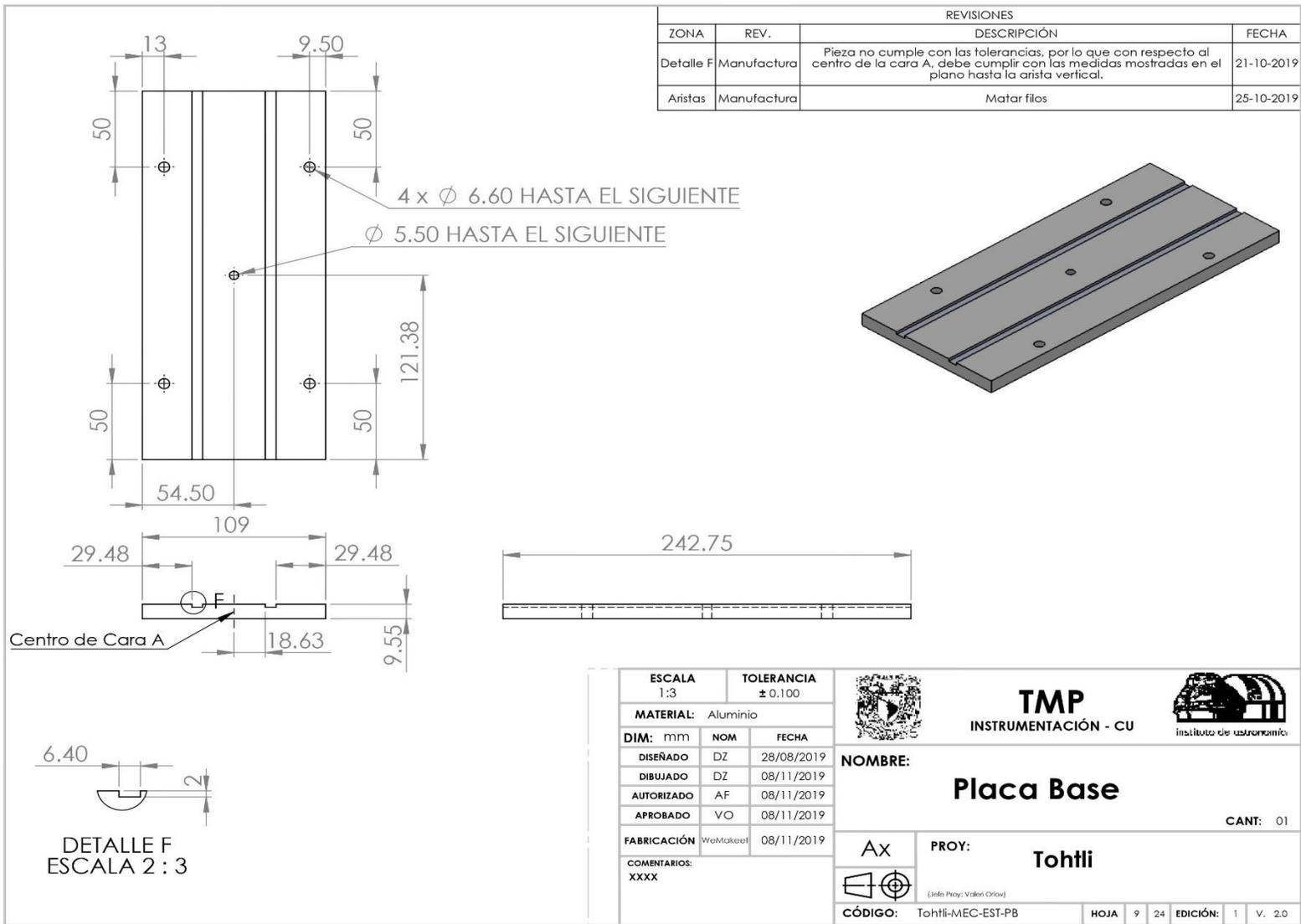


(Info Proy. Valer Orlov)

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-IF

HOJA 8 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

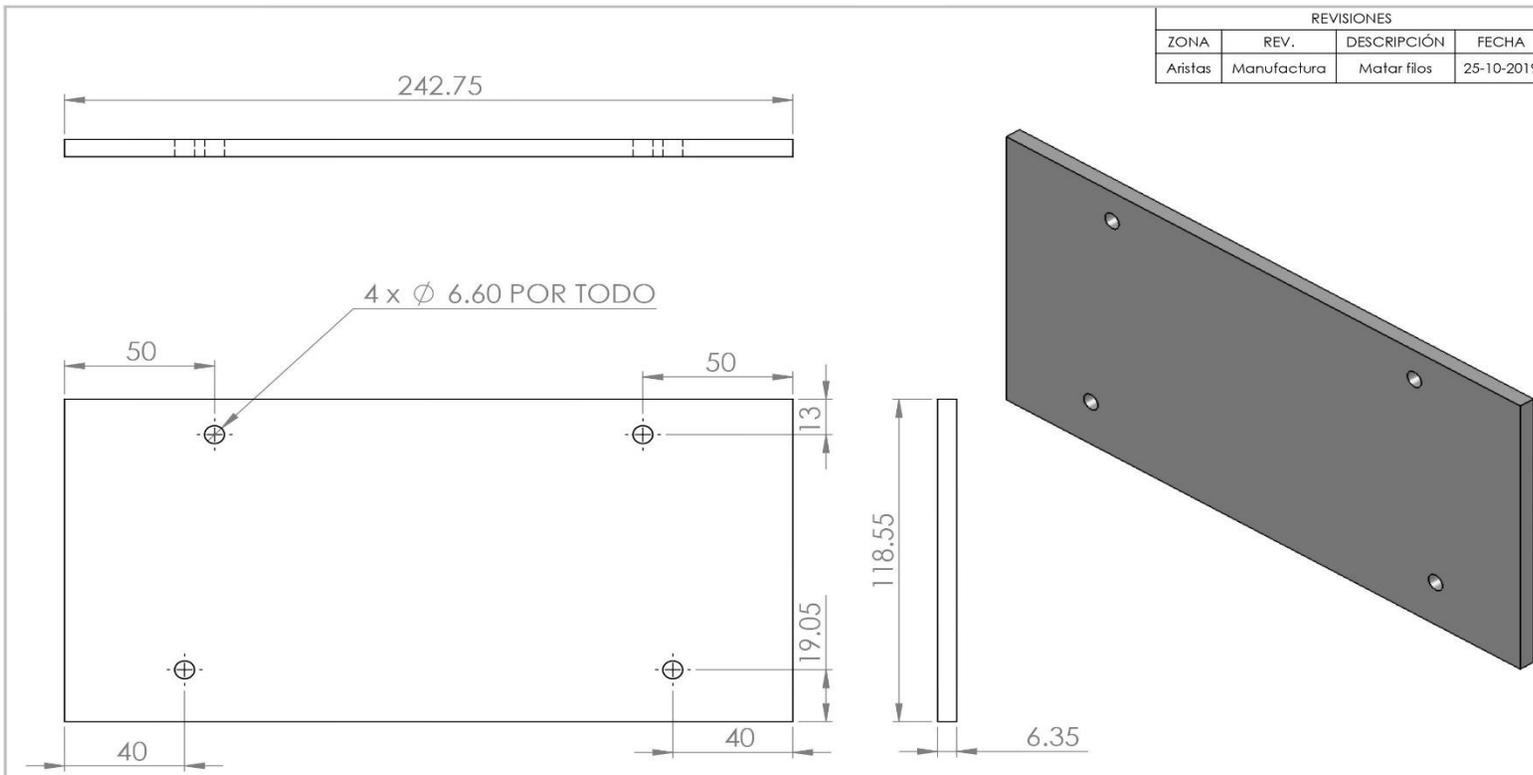
Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.



REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Detalle F	Manufactura	Pieza no cumple con las tolerancias, por lo que con respecto al centro de la cara A, debe cumplir con las medidas mostradas en el plano hasta la arista vertical.	21-10-2019
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019

ESCALA 1:3	TOLERANCIA ± 0.100	 TMP INSTRUMENTACIÓN - CU	 Instituto de astronomía
MATERIAL: Aluminio			
DIM: mm	NOM	FECHA	NOMBRE: Placa Base CANT: 01
DISEÑADO	DZ	28/08/2019	
DIBUJADO	DZ	08/11/2019	
AUTORIZADO	AF	08/11/2019	
APROBADO	VO	08/11/2019	
FABRICACIÓN	WolMakarot	08/11/2019	PROY: Tohtli <small>(Info Proy: Válor Orlow)</small>
COMENTARIOS: XXXX			
CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PB		HOJA 9 24	EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

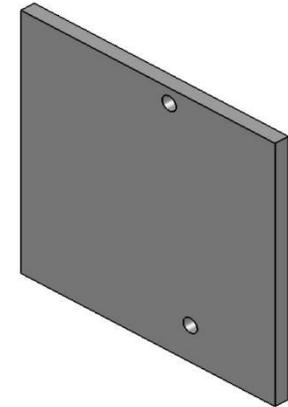
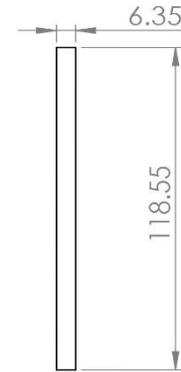
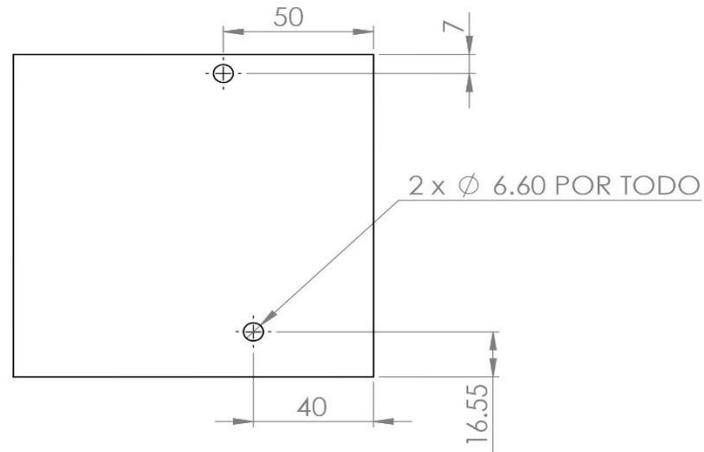
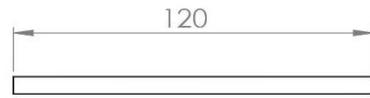


REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019

ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100						
MATERIAL: Aluminio							
DIM: mm	NOM	FECHA	NOMBRE: Placa lateral 1 CANT: 01				
DISEÑADO	DZ	28/08/2019					
DIBUJADO	DZ	08/11/2019					
AUTORIZADO	AF	08/11/2019					
APROBADO	VO	08/11/2019					
FABRICACIÓN	WaMakrol	08/11/2019	PROY: Tohtli <small>[Info Proy: Vainil Oltov]</small>				
COMENTARIOS:	XXXX						
CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PL1			HOJA	10 24	EDICIÓN:	1	V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019



ESCALA 1:2	TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL:	Aluminio	
DIM: mm	NOM	FECHA
DISEÑADO	DZ	28/08/2019
DIBUJADO	DZ	08/11/2019
AUTORIZADO	AF	08/11/2019
APROBADO	VO	08/11/2019
FABRICACIÓN	WaMakori	08/11/2019
COMENTARIOS:	XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

Placa lateral 2

CANT: 01

AX

PROY:

Tohtli



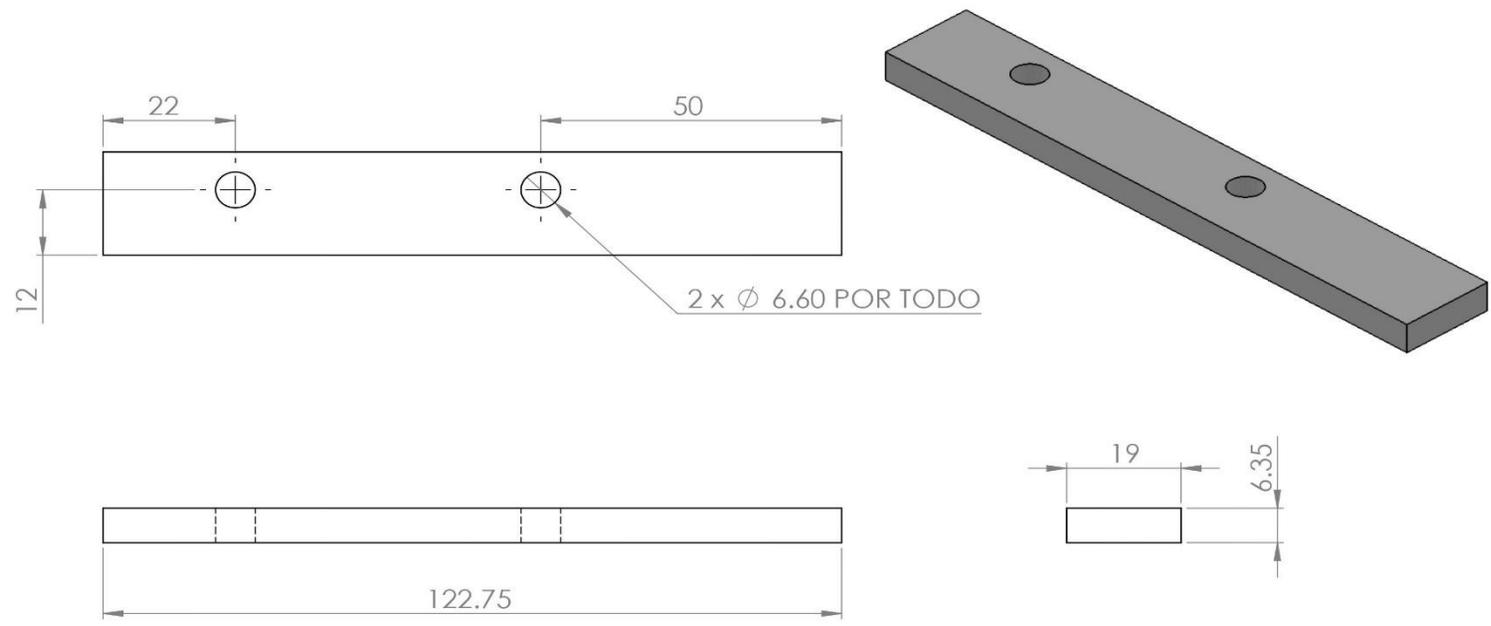
[Info Proy: Vainil Oltov]

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PL2-F

HOJA 11 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019



ESCALA 1:1	TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL:	Aluminio	
DIM:	mm	NOM
DISEÑADO	DZ	28/08/2019
DIBUJADO	DZ	08/11/2019
AUTORIZADO	AF	08/11/2019
APROBADO	VO	08/11/2019
FABRICACIÓN	WeMakroet	08/11/2019
COMENTARIOS:	XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:
Placa lateral guía 3
CANT: 01

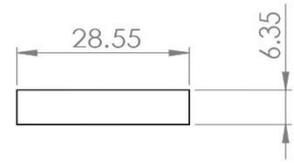
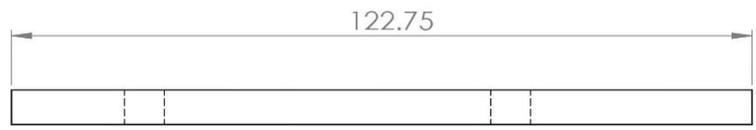
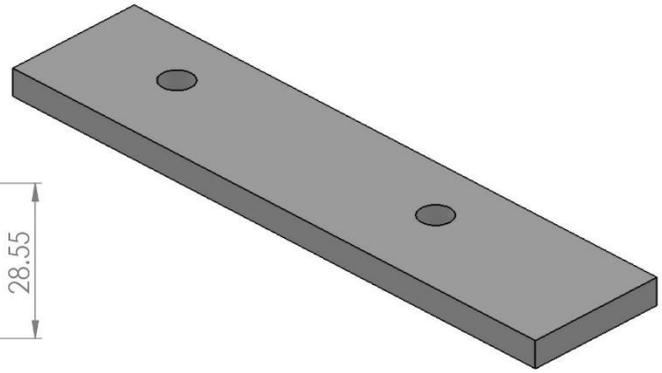
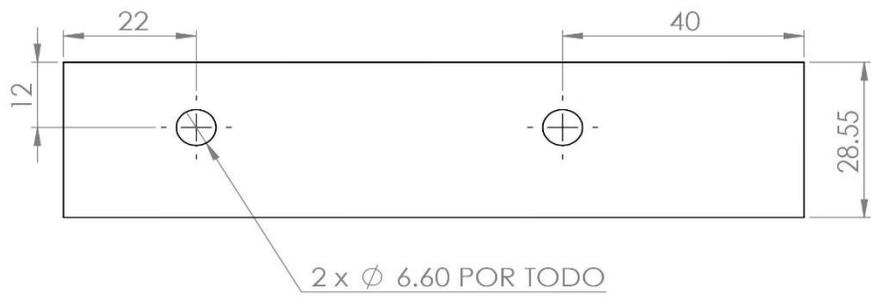
PROY:
Tohtli
(Irafe Proj: Vales Oloiv)

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PL2-G3

HOJA	12	24	EDICIÓN:	1	V.	2.0
------	----	----	----------	---	----	-----

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019



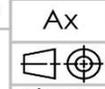
ESCALA 1:1	TOLERANCIA ± 0.100
MATERIAL: Aluminio	
DIM: mm	NOM FECHA
DISEÑADO	DZ 28/08/2019
DIBUJADO	DZ 08/11/2019
AUTORIZADO	AF 08/11/2019
APROBADO	VO 08/11/2019
FABRICACIÓN	WeMakereit 08/11/2019
COMENTARIOS: XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:
Placa lateral guía 4
CANT: 01

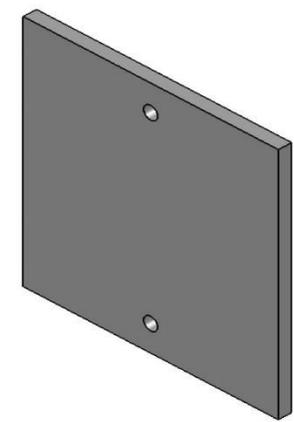
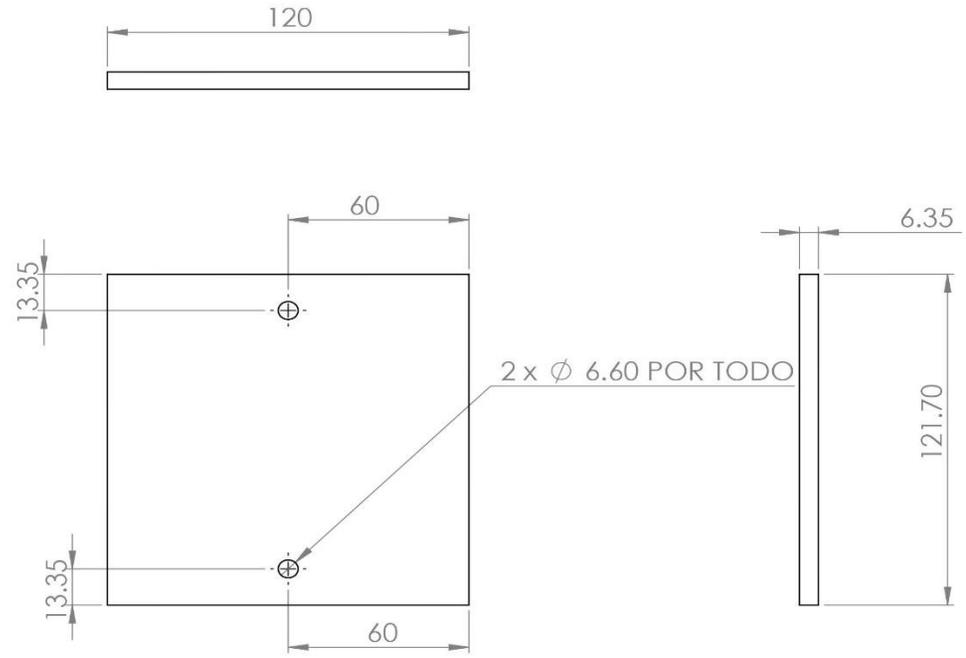


PROY:
Tohtli
(Info Proy: Valor Origen)

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PL2-G4 **HOJA** 13 24 **EDICIÓN:** 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

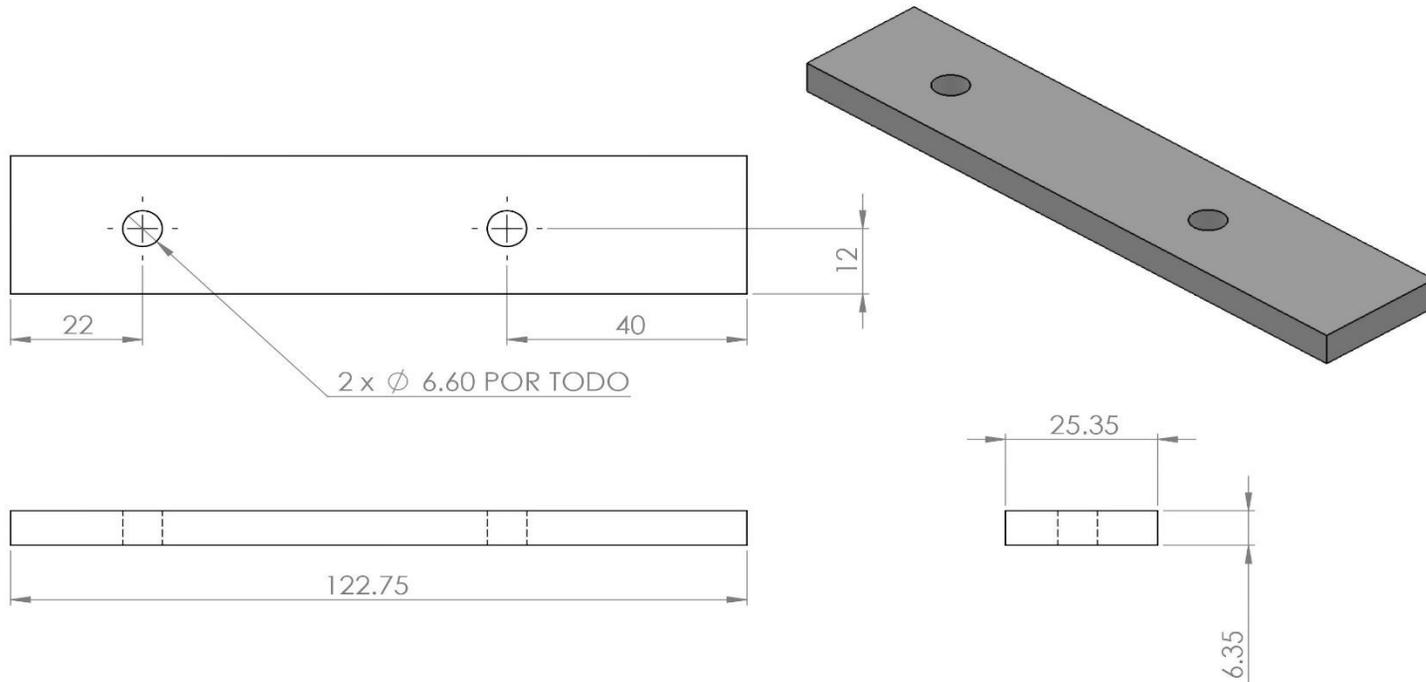
REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019



ESCALA 1:2		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU						
MATERIAL: Aluminio											
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Placa superior CANT: 01							
DISEÑADO	DZ	28/08/2019									
DIBUJADO	DZ	08/11/2019									
AUTORIZADO	AF	08/11/2019									
APROBADO	VO	08/11/2019									
FABRICACIÓN	WolMakarot	08/11/2019		PROY: Tohtli <small>(Info Proy: Vokot Orlov)</small>							
COMENTARIOS: XXXX											
					CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PS-F						
					HOJA	14	24	EDICIÓN:	1	V.	2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filos	25-10-2019



ESCALA 1:1	TOLERANCIA ± 0.100	
MATERIAL:	Aluminio	
DIM: mm	NOM	FECHA
DISEÑADO	DZ	28/08/2019
DIBUJADO	DZ	08/11/2019
AUTORIZADO	AF	08/11/2019
APROBADO	VO	08/11/2019
FABRICACIÓN	Wa/Makrol	08/11/2019
COMENTARIOS:	XXXX	



TMP
INSTRUMENTACIÓN - CU



NOMBRE:

Placa superior guía 3

CANT: 01

AX

PROY:

Tohtli



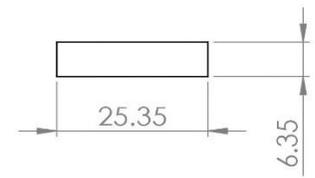
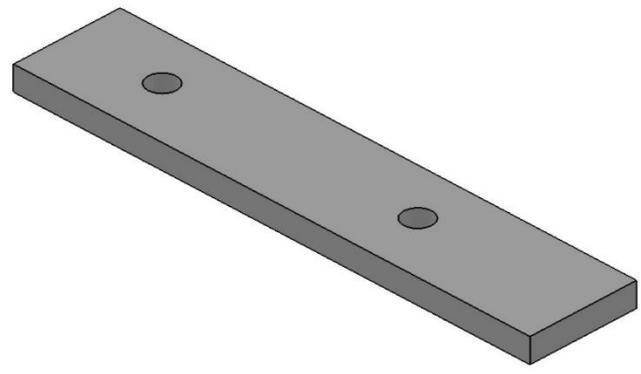
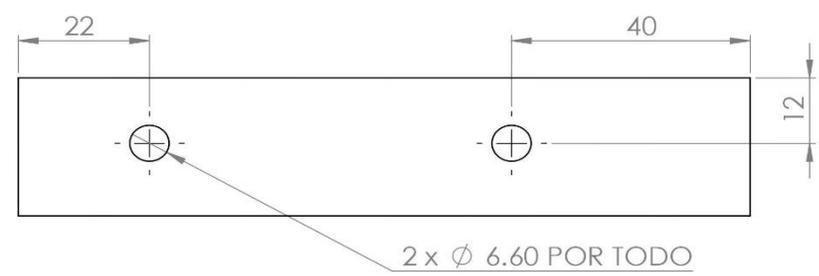
[Info Proy: Vainil Oltov]

CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PS-G3

HOJA 15 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

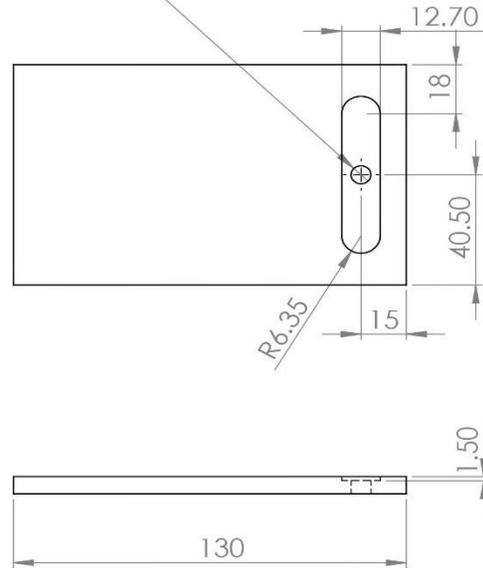
REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
Aristas	Manufactura	Matar filis	25-10-2019



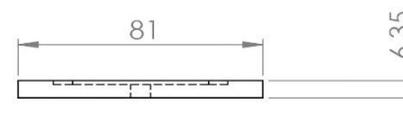
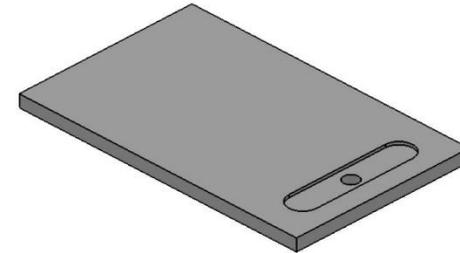
ESCALA 1:1		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU		
MATERIAL: Aluminio							
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Placa superior guia 4 CANT: 01			
DISEÑADO	DZ	28/08/2019					
DIBUJADO	DZ	08/11/2019					
AUTORIZADO	AF	08/11/2019					
APROBADO	VO	08/11/2019					
FABRICACIÓN	WestMaterial	08/11/2019		PROY: Tohtli <small>[Jefe Proy: Valeri Orlov]</small>			
COMENTARIOS: XXXX							
CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PS-G4		HOJA	16	24	EDICIÓN:	1	V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ø 6.60 POR TODO

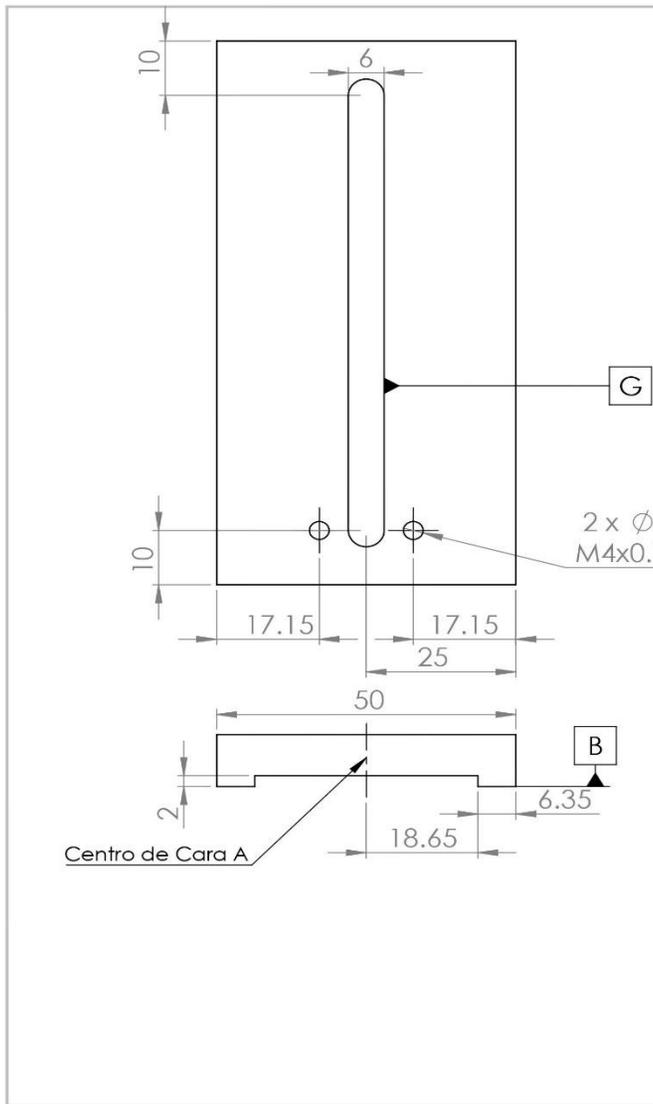


REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
-	Manufactura	Ampliar el barreno a 6.6 mm de diametro	28/10/2019
Aristas	Manufactura	Matar fillos	28/10/2019



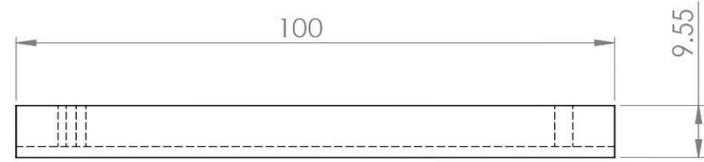
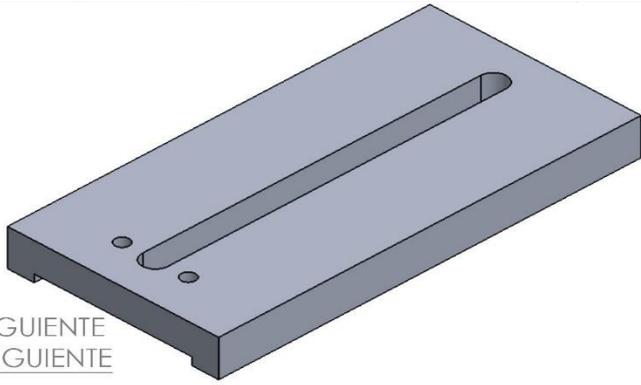
ESCALA		TOLERANCIA		 TMP INSTRUMENTACIÓN - CU	 Instituto de Instrumentación
1:2		± 0.100			
MATERIAL: Aluminio				NOMBRE: <h2>Placa movil</h2>	CANT: 02
DIM: mm	NOM	FECHA			
DISEÑADO	DZ	28/08/2019			
DIBUJADO	DZ	08/11/2019			
AUTORIZADO	AF	08/11/2019			
APROBADO	VO	08/11/2019			
FABRICACIÓN: WelMakeerl				PROY: <h2>Tohtli</h2>	
COMENTARIOS: XXXX				 (Info Proy: Valeri Orlov)	
CÓDIGO: Tohtli-MEC-EST-PS-M				HOJA	17 24 EDICIÓN: 1 V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



2 x ϕ 3.30 HASTA EL SIGUIENTE
M4x0.7 - 6H HASTA EL SIGUIENTE

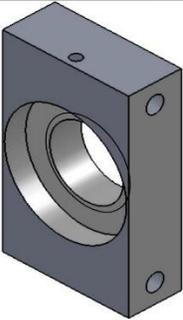
REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
B	Manufactura	No cumple con las tolerancias establecidas, con respecto al centro de la pieza en la cara A, debe cumplir con las medidas marcadas en el plano hasta llegar a la arista vertical.	21/10/2019
-	Manufactura	Cuerda para tornillo M4 x 0.7	23/10/2019
G	Manufactura	No cumple con las tolerancias establecidas, ampliar el canal a la medida de 6 mm marcadas en el plano	23/10/2019
Aristas	Manufactura	Matar filo	25/10/2019

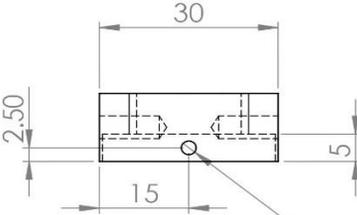


ESCALA 1:1	TOLERANCIA ± 0.100		TMP INSTRUMENTACIÓN - CU
MATERIAL: Aluminio			
DIM: mm	NOM	FECHA	NOMBRE: Soporte horizontal CANT: 01
DISEÑADO	DZ	28/08/2019	
DIBUJADO	DZ	08/11/2019	
AUTORIZADO	AF	08/11/2019	
APROBADO	VO	08/11/2019	
FABRICACIÓN	Wolakeel	08/11/2019	PROY: Tohtli <small>(Jefe Proy: Valeri Orlov)</small>
COMENTARIOS: XXXX			
CÓDIGO: Tohtli-MEC-OP-HR		HOJA 18 24	EDICIÓN: 1 V. 2.0

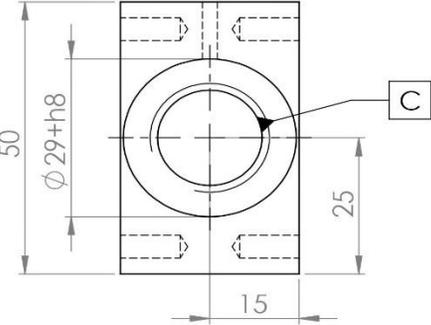
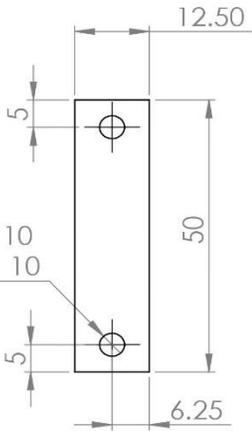
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
C	Manufactura	Ajustar a objetivo Plan 40/0.65	22/10/2019
	Diseño	Aumentar agujero y agregar un barreno con cuerda M3	13/11/2019





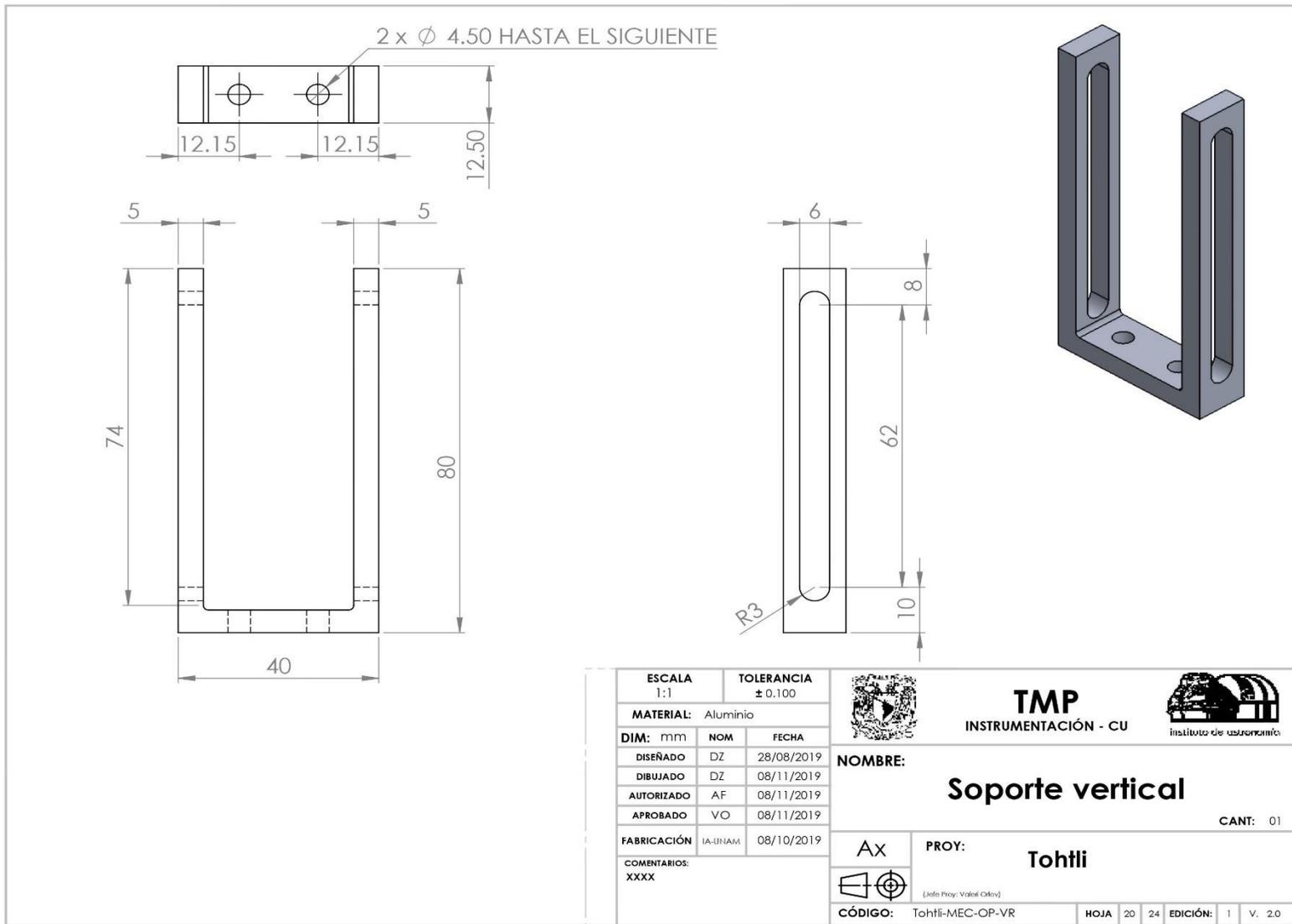
$\varnothing 2.50$ POR TODO
M3x0.5 - 6H POR TODO

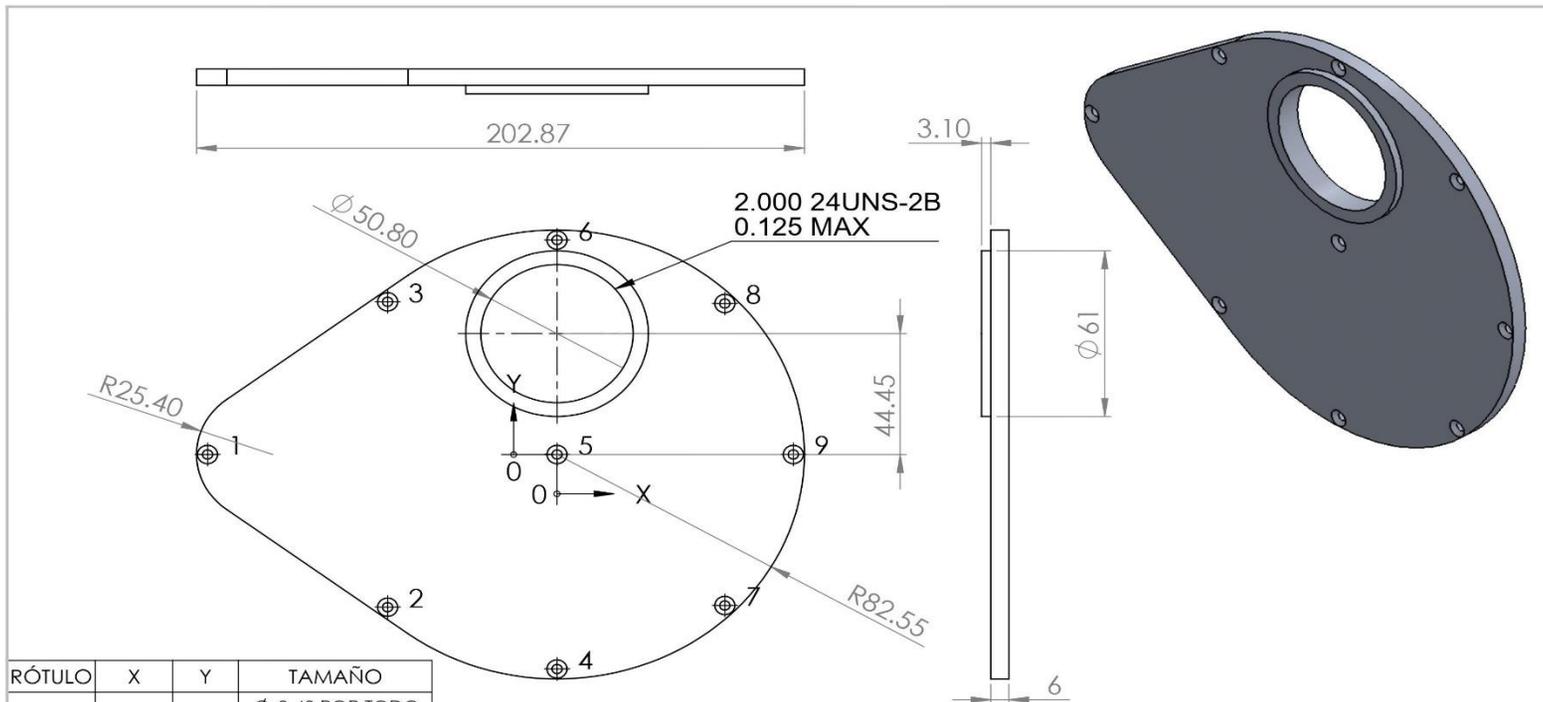
4 x $\varnothing 4.20 \nabla 10$
M5x0.8 - 6H $\nabla 10$

ESCALA 1:1		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU 
MATERIAL: Aluminio					
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Soporte Objetivo CANT: 01	
DISEÑADO	DZ	28/08/2019			
DIBUJADO	DZ	08/11/2019			
AUTORIZADO	AF	08/11/2019			
APROBADO	VO	08/11/2019			
FABRICACIÓN	IA-INAM	13/11/2019		PROY: Tohtli <small>[Jefe Proy: Valer Oñov]</small>	
COMENTARIOS: XXXX					
CÓDIGO: Tohtli-MEC-OP-SP2		HOJA	19	24	EDICIÓN: 1 V. 4.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



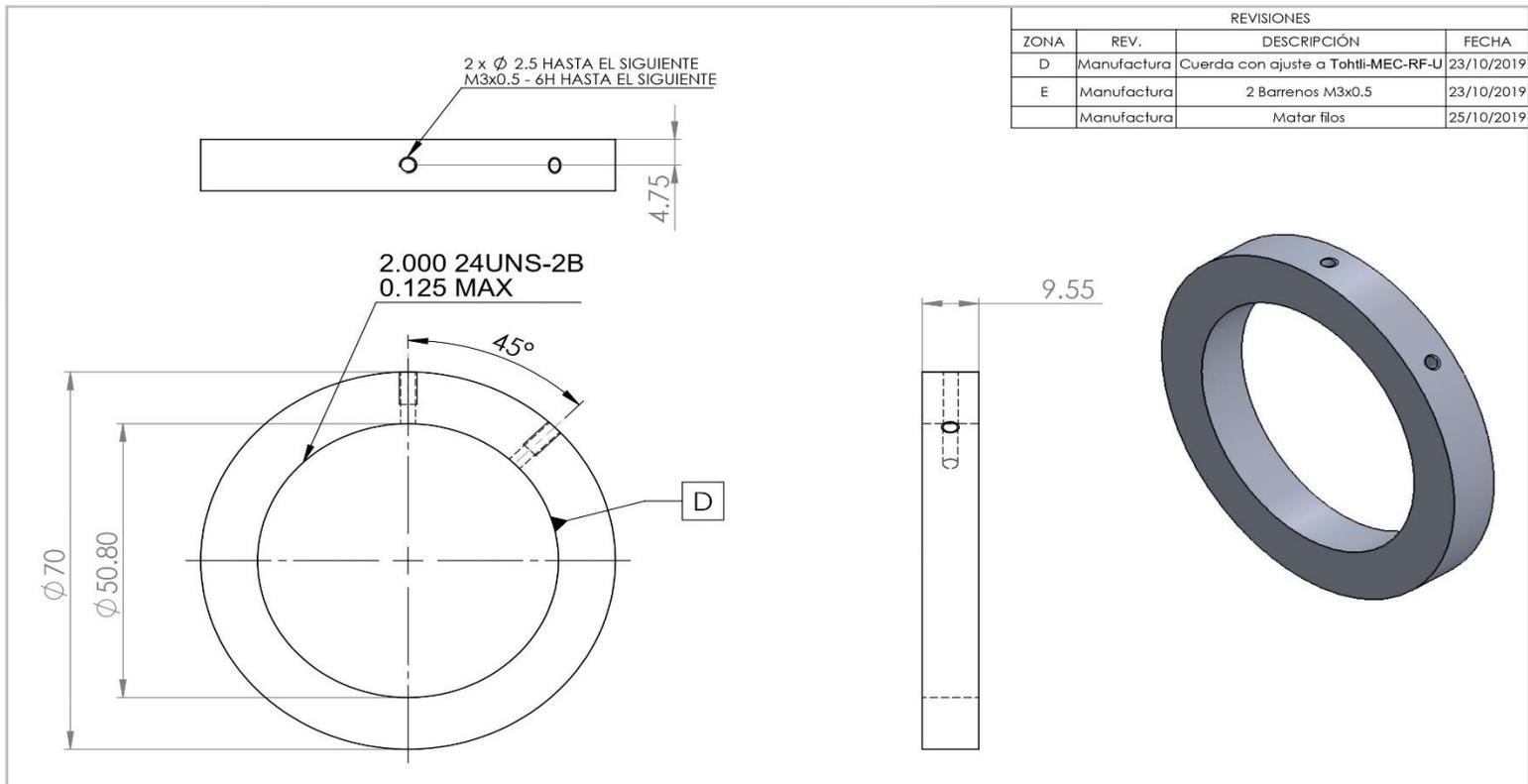
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



RÓTULO	X	Y	TAMAÑO
1	-116.64	0	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
2	-56.53	-56.15	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
3	-56.53	56.15	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
4	0	-78.87	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
5	0	0	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
6	0	78.87	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
7	56.01	-55.53	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
8	56.01	55.53	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°
9	78.87	0	∅ 3.40 POR TODO ∅ 6.72 X 90°

ESCALA 1:2		TOLERANCIA ±0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU 
MATERIAL: Aluminio					
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Placa rueda de filtros CANT: 01	
DISEÑADO	DZ	28/08/2019			
DIBUJADO	DZ	08/11/2019			
AUTORIZADO	AF	08/11/2019			
APROBADO	VO	08/11/2019		PROY: Tohtli <small>(Jefe Proy: Valentín Ortiz)</small>	
FABRICACIÓN	IA-UNAM	08/11/2019			
COMENTARIOS: XXXX					CÓDIGO: Tohtli-MEC-RF-C
					

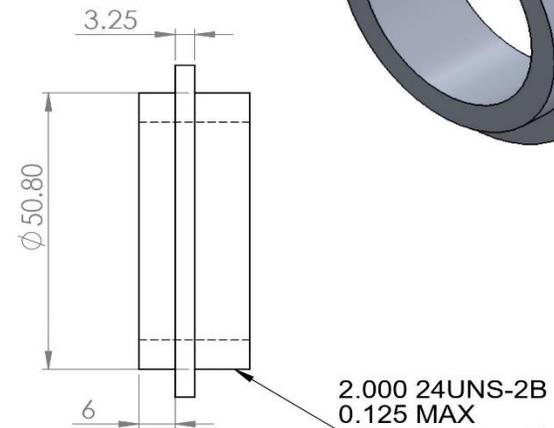
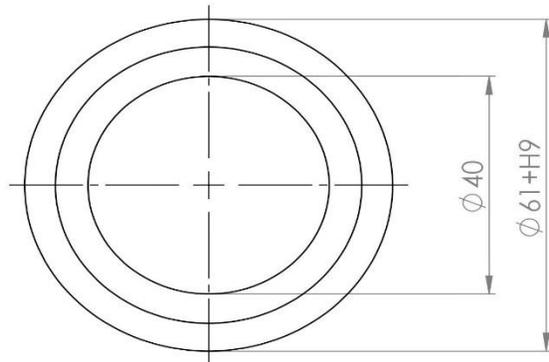
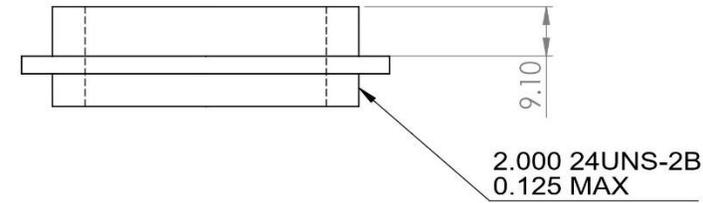
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



REVISIONES			
ZONA	REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA
D	Manufactura	Cuerda con ajuste a Tohtli-MEC-RF-U	23/10/2019
E	Manufactura	2 Barrenos M3x0.5	23/10/2019
	Manufactura	Matar filos	25/10/2019

ESCALA 1:1	TOLERANCIA ± 0.100		TMP INSTRUMENTACIÓN - CU		
MATERIAL: Aluminio					
DIM: mm	NOM	FECHA	NOMBRE: Soporte union		
DISEÑADO	DZ	28/08/2019			
DIBUJADO	DZ	08/11/2019			
AUTORIZADO	AF	08/11/2019			
APROBADO	VO	08/11/2019			
FABRICACIÓN	IA-UNAM	08/11/2019	PROY: Tohtli		
COMENTARIOS: XXXX					
			CÓDIGO: Tohtli-MEC-RF-T		
			HOJA 23 24	EDICIÓN: 1	V. 2.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



ESCALA 1:1		TOLERANCIA ± 0.100			TMP INSTRUMENTACIÓN - CU					
MATERIAL: Aluminio										
DIM: mm	NOM	FECHA		NOMBRE: Union CANT: 01						
DISEÑADO	DZ	28/08/2019								
DIBUJADO	DZ	08/11/2019								
AUTORIZADO	AF	08/11/2019								
APROBADO	VO	08/11/2019								
FABRICACIÓN	IA-UNAM	15/10/2019		PROY: Tohtli <small>(Info Proy: Valor Orto)</small>						
COMENTARIOS: XXXX										
CÓDIGO: Tohtli-MEC-RF-U				HOJA	24	24	EDICIÓN:	1	V.	3.0

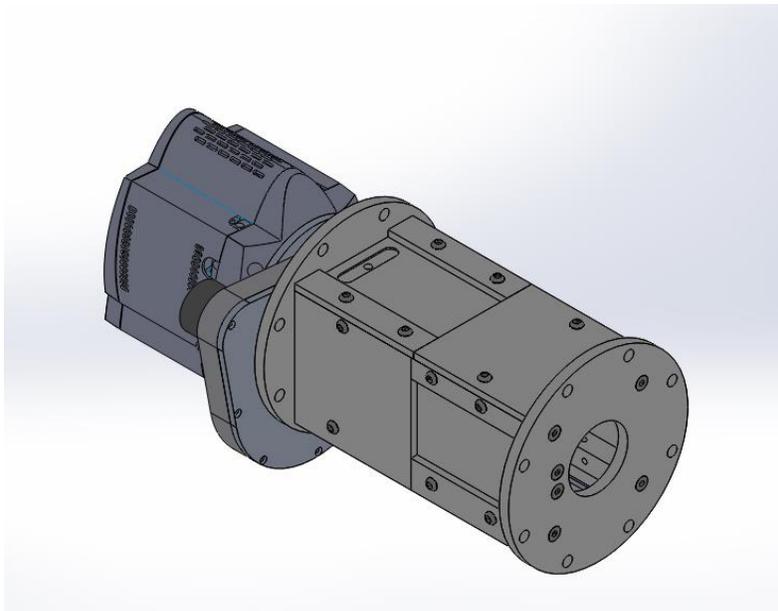
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 2

Manual Ensamble Instrumento Tohtli

Interferómetro Tohtli

Instrucciones de ensamblaje



Interferómetro de motas para el telescopio del Observatorio Astronómico Nacional de 1 metro que se encuentra en Tonantzintla, Puebla.

Contenido

- Componentes..... 1
- Tornillos y Herramientas..... 3
- Ensamble..... 3
 - Subensamble 1 3
 - Paso 2 5
 - Paso 3 7
 - Paso 4 7
 - Paso 5 8
 - Paso 6 9
 - Paso 7 9
 - Ensamble final..... 11

Interferómetro Tohtli

Componentes

Identificar cada una de las piezas para realizar el ensamble del instrumento:

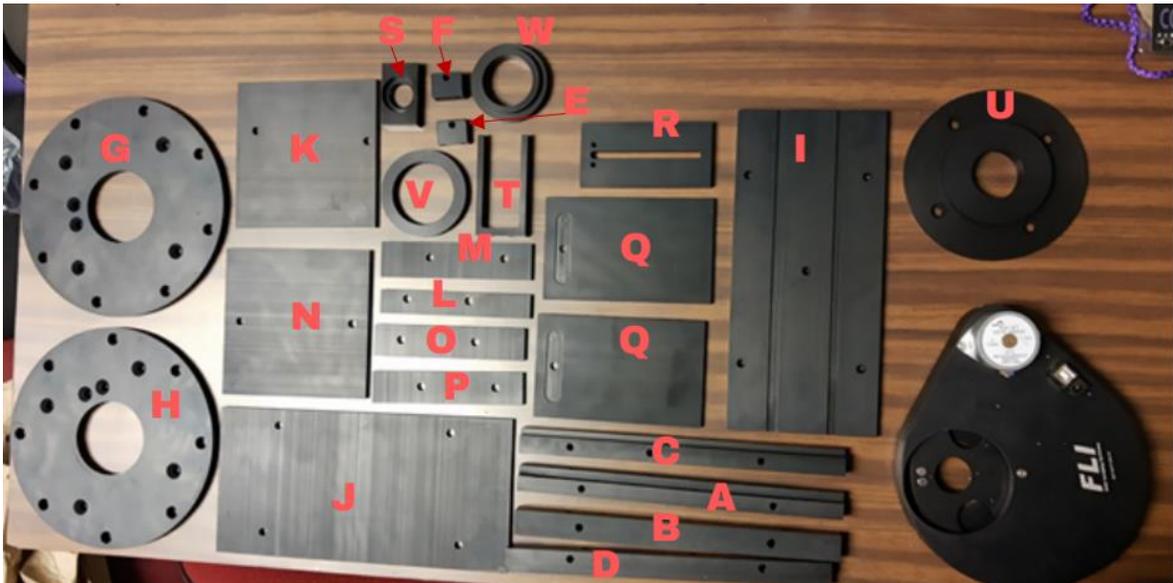
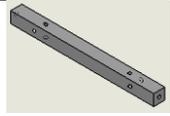
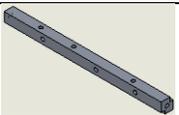
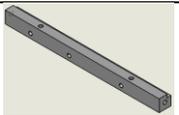
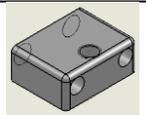
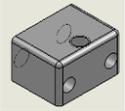
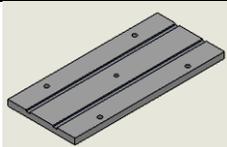
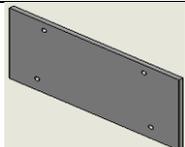
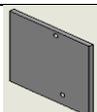
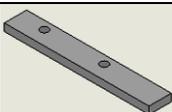
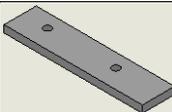
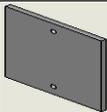
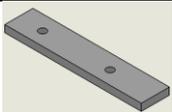
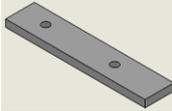
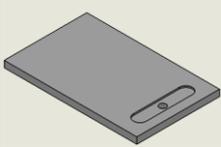
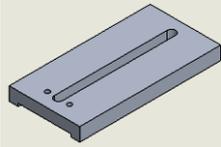
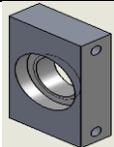
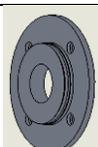


Tabla 1 COMPONENTES

Parte	Cantidad	Imagen
A	1	
B	1	

C	1	
D	1	
E	1	

F	1	
G	1	
H	1	
I	1	
J	1	
K	1	
L	1	
M	1	
N	1	
O	1	

P	1	
Q	2	
R	1	
S	1	
T	1	
U	1	
V	1	
W	1	

Tornillos y Herramientas

En la siguiente tabla se muestran los tornillos a utilizar en el instrumento.

Tabla 2 Tornillos

Parte	Cantidad	Descripción
T-1	12	Avellanado M6 x 1 mm, 22 mm longitud
T-2	6	Botón M6 x 1 mm, 12 mm longitud
T-3	14	Botón M6 x 1 mm, 20 mm longitud
T-4	2	Botón M4 x 0.7 mm, 10 mm longitud
T-5	4	Tornillo de hombro 6 mm, M5 x 0.8 mm, 4 mm longitud
T-6	1	Tuerca de ajuste M5 x 0.8 mm
T-7	1	Botón M5 x 0.8 mm, 25 mm longitud
T-8	5	Arandela M5, espesor 0.4 mm
T-9	2	Punta de nylon M3 x 0.5 mm, 10 mm longitud
T-10	4	Boton M5 x 0.8 mm, 8 mm longitud

Herramientas

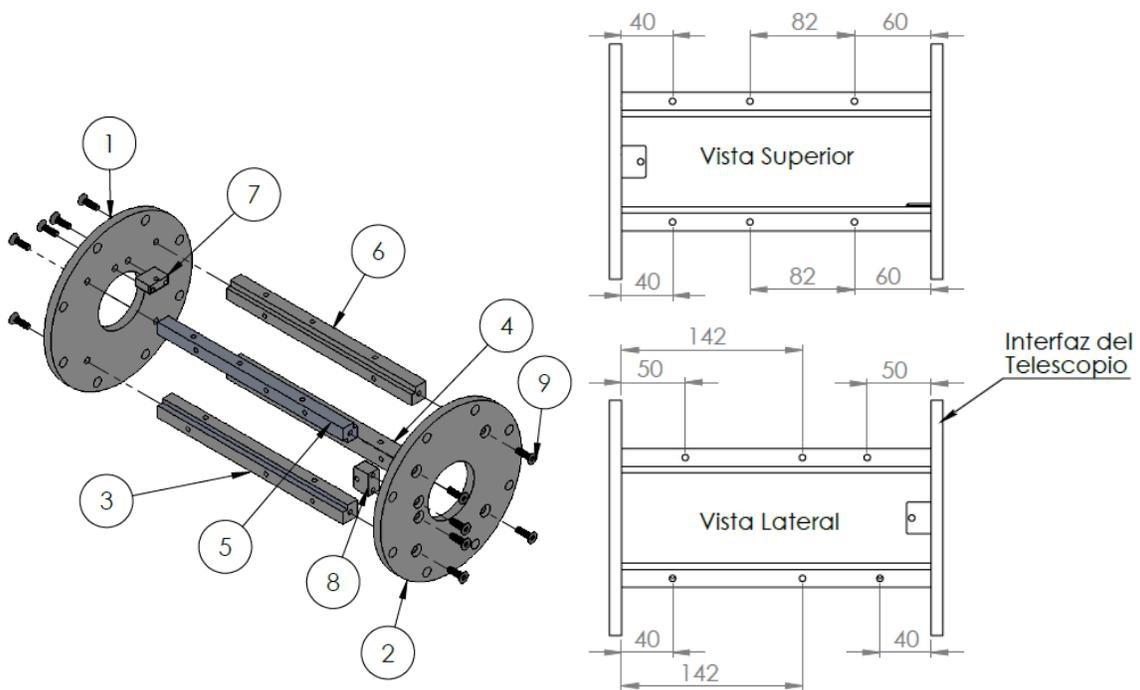
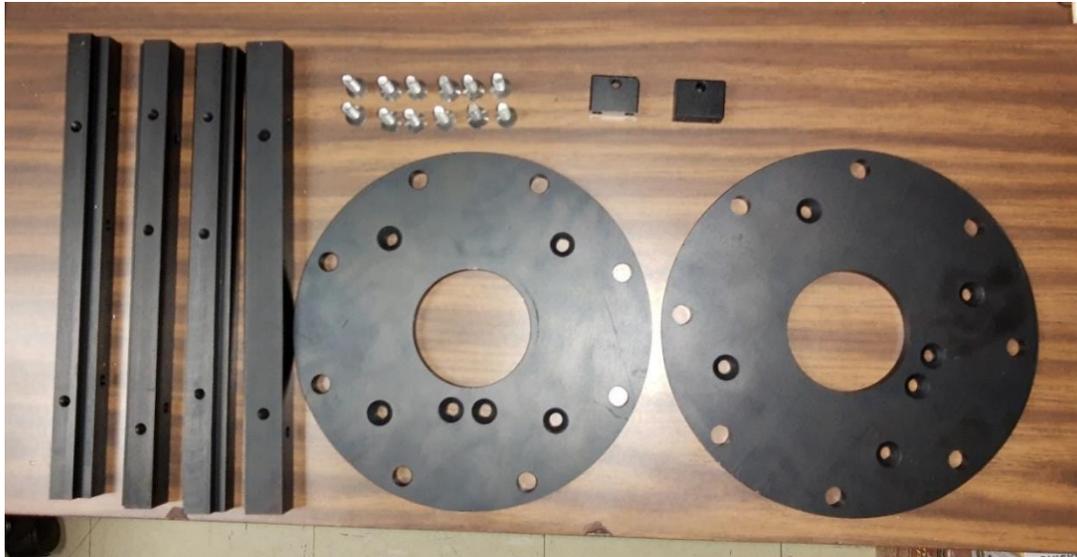
Las herramientas que se utilizan para el ensamble del instrumento son llaves allen métricas

Ensamble

Para realizar el ensamble del instrumento Tohtli es importante identificar cada una de las piezas para poder realizar correctamente su integración.

Subensamble 1

El primer paso consta de las piezas que se muestran en la siguiente imagen, cada una de las piezas va en una determinada posición la cual si no se coloca la forma correcta no coinciden las placas en sus respectivas posiciones:



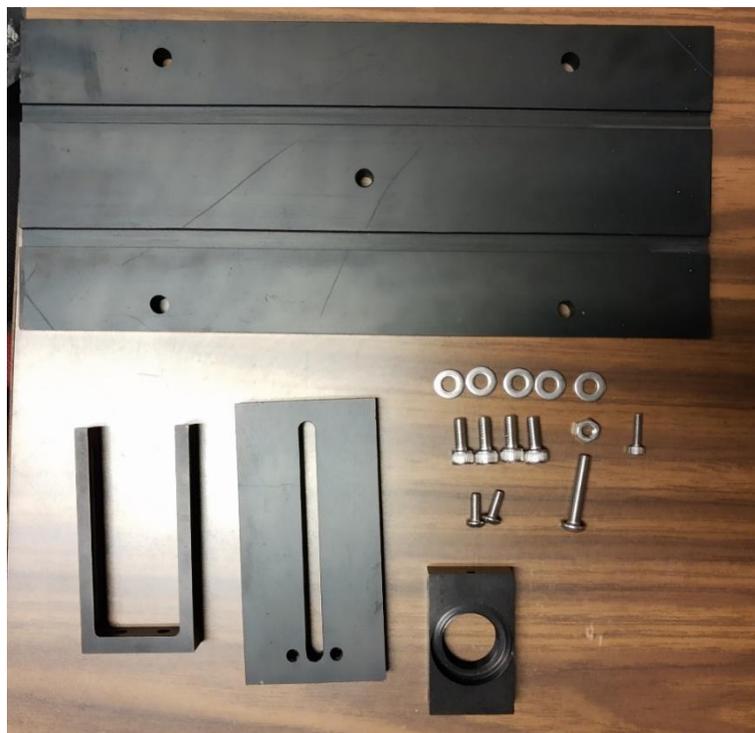
ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tohtli-MEC-EST-IF	1
2	Tohtli-MEC-EST-IT	1
3	Tohtli-MEC-EST-B1	1
4	Tohtli-MEC-EST-B2	1
5	Tohtli-MEC-EST-B3	1

6	Tohtli-MEC-EST-B4	1
7	Tohtli-MEC-EST-C	1
8	Tohtli-MEC-EST-C2	1
9	Tohtli-MEC-EST-TR-FLAT-SCREW-M6	12

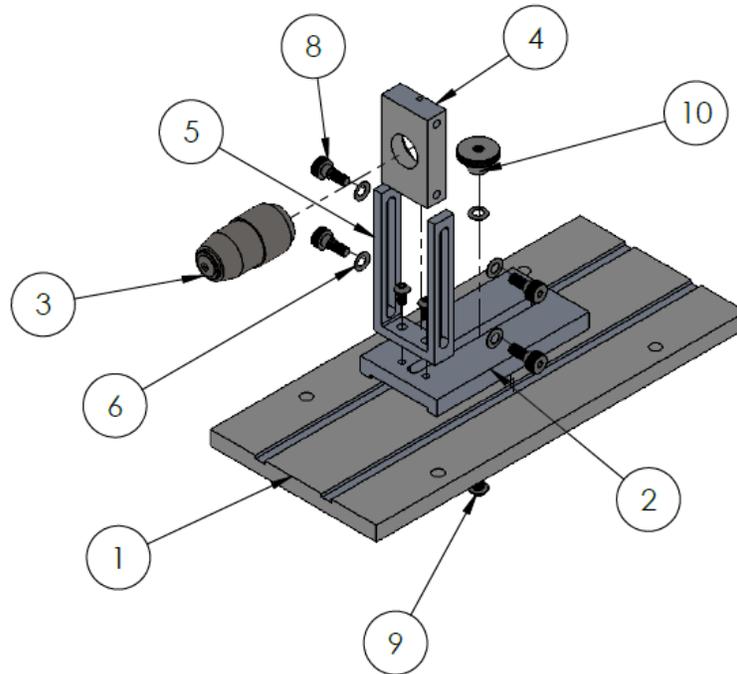
Nota: Es importante también como se posicionan las piezas debido a que pueden estar invertidas, lo que ocasiona que queden disperejas las placas.

Paso 2

En este paso se ensambla las partes que pueden moverse las cuales van colocadas en la base del instrumento. Las piezas para utilizar son las que se muestran a continuación:



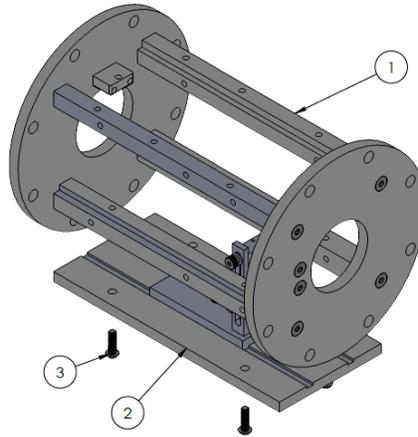
En la siguiente imagen se muestra como se realiza el ensamble de los componentes:



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tohtli-MEC-EST-PB	1
2	Tohtli-MEC-OP-HR	1
3	Tohtli-MEC-OP-OB	1
4	Tohtli-MEC-OP-SP2	1
5	Tohtli-MEC-OP-VR	1
6	Tohtli-MEC-EST-TR-BELLEVILLE-M5	5
7	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M4	2
8	Tohtli-MEC-EST-TR-SHOULDER-M5	4
9	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M5	1
10	Tohtli-MEC-EST-TR-ROUND-THUMB-M5	1

Paso 3

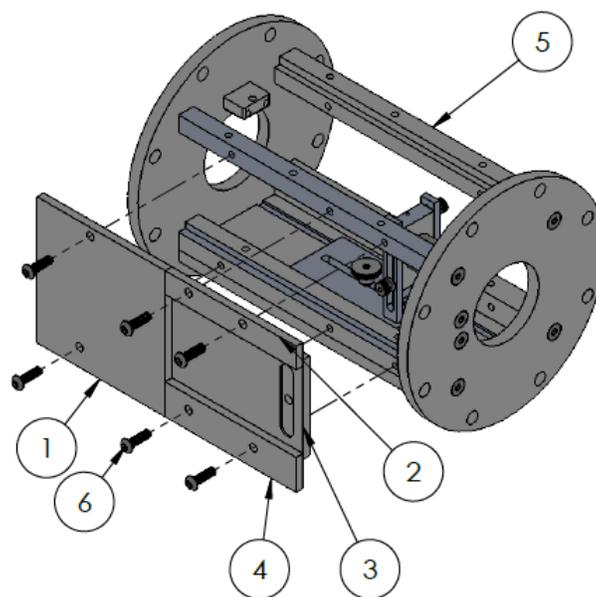
El tercer paso consiste en ensamblar paso 1 y paso 2 por lo que solo es necesario el uso de 4 tornillos.



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Paso 1	1
2	Paso 2	1
3	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M6	4

Paso 4

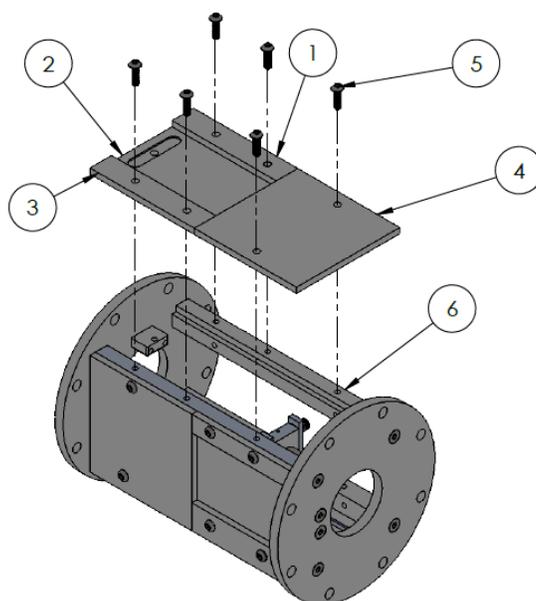
En el paso 4 se ensamblará las placas laterales, así como la compuerta que permite el acceso al interior del instrumento, a la siguiente figura se presenta el ensamble:



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tohtli-MEC-EST-PL2-F	1
2	Tohtli-MEC-EST-PL2-G3	1
3	Tohtli-MEC-EST-PS-M	1
4	Tohtli-MEC-EST-PL2-G4	1
5	Paso 3	1
6	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M6	10

Paso 5

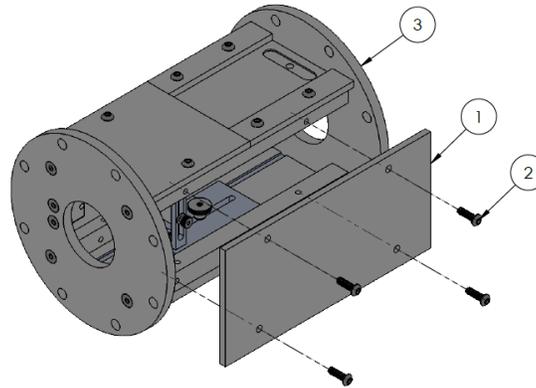
En el paso 5 consiste en colocar la parte superior del instrumento, así como la otra compuerta:



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tohtli-MEC-EST-PS-G4	1
2	Tohtli-MEC-EST-PS-M	1
3	Tohtli-MEC-EST-PS-G3	1
4	Tohtli-MEC-EST-PS-F	1
5	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M6	16
6	Paso 5	1

Paso 6

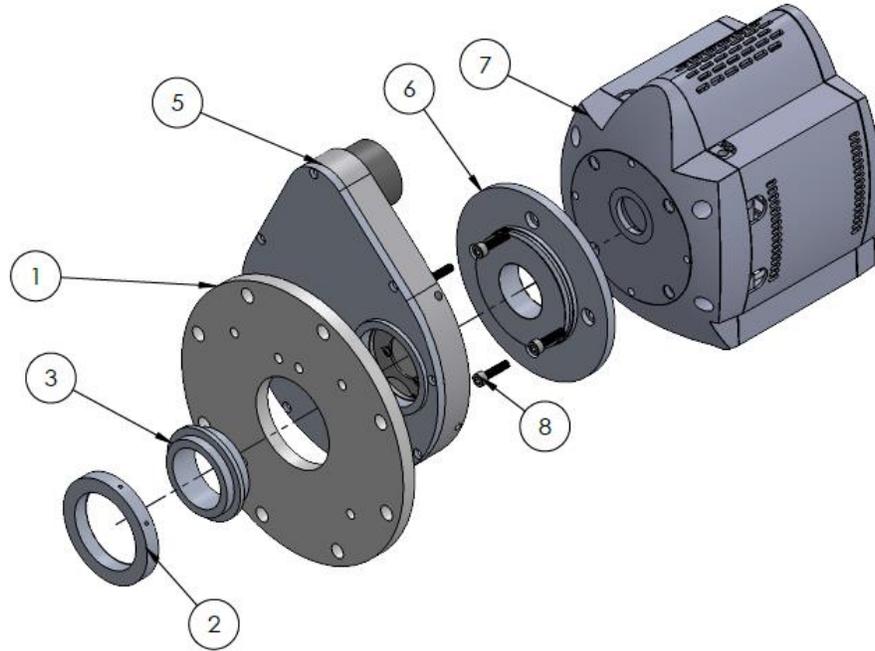
El paso 6 se coloca la otra placa lateral, del instrumento:



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tohtli-MEC-EST-PL1	1
2	Tohtli-MEC-EST-TR-BUTTON-SCREW-M6	20
3	Paso 5	1

Paso 7

En paso 7 y último se coloca la rueda de filtros, así como la Cámara, para este paso elimino el instrumento Tohtli para visualizar el ensamble, por lo que el componente 1 ya este ensamblado al instrumento:



ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Paso 6	1
2	Tohtli-MEC-RF-T	1
3	Tohtli-MEC-RF-U	1
4	Tohtli-MEC-RF	1
5	Tohtli-MEC-RF-C	1
6	Tohtli-MEC-RF-CAM	1
7	IXON-888	1
8	Tohtli-MEC-EST-TR-CAP-SCREW-M5	4

Ensamble final

En la siguiente imagen podemos observar el instrumento Tohtli ya ensamblado:

