



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA – MECATRÓNICA

INGENIERÍA INVERSA Y CONCURRENTE DEL INTERFERÓMETRO DE MOTAS  
BERKUT PARA TELESCOPIOS DE CLASE 1 METRO

TESIS:

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ROGELIO LÓPEZ CRUZ

TUTORES

DR. ALEJANDRO FARAH SIMÓN, FACULTAD DE INGENIERIA

DR. VALERI ORLOV, INSTITUTO DE ASTRONOMIA



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.



**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente.

Secretario: Dr. Cuenca Jiménez Francisco.

Vocal: Dr. Farah Simón Alejandro.

1<sup>er.</sup> Suplente: Dr. Valeri Orlov.

2<sup>do.</sup> Suplente: Dr. Velázquez Villegas Fernando.

Lugares donde se realizó la tesis:  
Instituto de Astronomía,  
Facultad de Ingeniería,  
Observatorio Astronómico Nacional sede Tonantzintla, Puebla.  
Universidad Nacional Autónoma de México.

**TUTORES DE TESIS:**

Dr. Alejandro Farah Simón



---

**FIRMA**

Dr. Valeri Orlov



---

**FIRMA**



*“Uno no sabe lo que sabe - ni siquiera lo que desea saber - hasta que lo desafían y se ve obligado a hacer frente”*

*Thornton Wilder : Los Idus de Marzo*

*“Nadie debe sentir miedo de lo desconocido, porque cualquier persona es capaz de conquistar todo lo que quiere y necesita”*

*Paulo Coelho : El Alquimista*

*Dedicado a mis padres, hermanos y amigos*



# AGRADECIMIENTOS

Horacio Gutiérrez Osorio.

Richi Granados Alfaro.

Tere Trinidad Mondragón.

Eric Tejada Malpica

Dr. Alex Farah Simón.

Dr. Valeri Orlov.

Instituto de Astronomía.

Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Este trabajo fue apoyado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (Universidad Nacional Autónoma de México) bajo el proyecto IN102514



# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	I
ÍNDICE.....	II
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	VII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO. ....	4
1.1 Principales Instrumentos Astronómicos. ....	5
1.1.1 El Telescopio y su evolución a través del tiempo. ....	5
1.1.1.1 Principio de funcionamiento .....	5
1.1.2 Instrumentos convencionales utilizados en telescopios. ....	7
1.1.2.1 Cámara .....	7
1.1.2.2 Fotómetro.....	8
1.1.2.3 Polarímetro.....	8
1.1.2.4 Espectrómetro de dispersión.....	9
1.2 Técnicas aplicadas en Astronomía para la obtención de imágenes. ....	10
1.2.1 Técnicas mecánicas.....	10
1.2.1.1 Dispositivo de alineación para GAIA M2M.....	11
1.2.1.2 Banco de pruebas para la estructura de espejo primario de GTC.	11
1.2.1.3 Barril de la cámara del instrumento OSIRIS .....	12
1.2.1.4 Mecanismo para la alineación y enfoque de espectrógrafo Echelle	13

1.2.2	Técnicas ópticas.....	14
1.2.2.1	Óptica adaptativa .....	14
1.2.2.2	Estrellas de referencia láser .....	15
1.2.2.3	Óptica activa .....	15
1.2.2.4	Óptica adaptativa multiconjugada .....	16
1.3	Definición del problema .....	16
1.4	Objetivo .....	17
1.5	Relevancia y justificación .....	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....		19
2.1	El Observatorio Astronómico Nacional.....	20
2.2	Breve historia de los desarrollos astronómicos en México. ....	21
2.3	Telescopio de 1 m en Tonantzintla, Puebla. ....	22
2.3.1	Instrumentos del telescopio de 1 m. ....	22
2.3.2	Características del telescopio de 1 m. ....	22
2.4	Interferometría de motas (speckle) y alta resolución. ....	23
2.4.1	Interferometría en Astronomía.....	23
2.4.2	Concepto de mota o speckle .....	23
2.4.3	Interferometría de motas. ....	23
2.4.4	Aplicaciones de interferometría de motas.....	24
2.4.5	Interferometría de motas en Astronomía.....	24
2.5	Diseño, diseño mecánico e ingeniería inversa. ....	25
2.5.1	Diseño. ....	25
2.5.2	Diseño mecánico .....	25
2.5.3	Metodología del diseño mecánico.....	25
2.5.4	Proceso de diseño mecánico .....	26
2.6	Metodología del enfoque apodíctico de diseño.....	29

2.7 Ingeniería inversa e ingeniería concurrente .....	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA APLICADA Y EL DISEÑO DE BERKUT. ....	32
3.1 Entendiendo el problema. ....	33
3.1.1 Reconocimiento de la necesidad. ....	33
3.1.2 Definición del problema.....	33
3.2 Determinando las frustraciones, miedos y expectativas para el proyecto. 36	
3.3 Análisis de la posición del desarrollo del producto.....	37
3.3.1 Dragón.....	37
3.3.2 Tohtli .....	39
3.4 Comenzar con la solución actual. Justificación de la ingeniería inversa y concurrente.....	39
3.4.1 Especificaciones y resultados obtenidos con Tohtli .....	40
3.5 Esquemas de posibilidades. Buscar e incorporar soluciones existentes 42	
3.6 Determinando el grado de homeostasis (desacoplamientos críticos) de la plataforma y sus derivados .....	43
3.6.1 Desarrollo Mecánico.....	44
3.6.2 Desarrollo Electrónico. ....	54
3.6.3 Desarrollo del control. ....	58
3.6.4 Desarrollo de la Interfaz de control. ....	63
CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN DE BERKUT CON EL TELESCOPIO. ....	66
4.1 Desarrollo del carácter y atributos del sistema .....	67
4.1.1 Esquema general de integración.....	67
4.1.2 Ensamblaje mecánico.....	67
4.1.3 Integración con la electrónica.....	69

4.1.4	Embalaje.....	70
4.1.5	Integración con el telescopio.....	71
4.1.6	Pruebas realizadas en el telescopio.....	73
4.1.7	Observaciones realizadas durante el periodo de trabajo .....	77
4.2	Logros obtenidos.....	77
4.2.1	Logros académicos. ....	79
4.3	Facilidad de integración .....	80
4.4	Tiempos de integración .....	80
4.5	Problemas encontrados.....	80
4.6	Factibilidad de comercializar Berkut .....	81
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....		82
5.1	Trabajo a futuro.....	83
REFERENCIAS.....		84
ANEXOS.....		86
Anexo A. Planos de construcción del instrumento Berkut. Sistema Mecánico. .....		87
Anexo B. Circuitos electrónicos impresos (PCB). ....		100
Anexo C. Costo aproximado de Berkut.....		102
Anexo D. Manual de ensamble de la estructura mecánica de Berkut.....		103
Anexo E. Características de Material.....		112
Anexo F. Artículo para el congreso Astronomical Telescopes + Instrumentation, Montreal, Quebec, Canadá. ....		114
Anexo G. Póster presentado en el congreso SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Montreal, Quebec, Canadá. ....		121
Anexo H. Póster presentado en el XXV Congreso Nacional de Astronomía, México D. F. ....		122

Anexo I. Elementos comerciales.....	123
-------------------------------------	-----

# TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Ejemplos de elementos ópticos (a) Lente convergente, (b) Espejo divergente [1].....	6
Figura 2 Relación de la distancia focal con respecto al tamaño de la imagen del objeto lejano, a mayor distancia focal mayor es el tamaño de la imagen. [1] .....	7
Figura 3 Esquema básico de cámaras: colocada directamente en el plano focal del telescopio (izquierda), y colocada después de un colimador de haz (derecha). [2] .....	8
Figura 4 Esquema básico del fotometro [2] .....	8
Figura 5 Esquema básico de polarímetro [2] .....	9
Figura 6 Esquema básico de espectrómetros: de prisma (izquierda) y de rejilla (derecha). [2] .....	10
Figura 7 Dispositivo de alineación para GAIA M2M [3] .....	11
Figura 8 Banco de pruebas del espejo primario del GTC [4] .....	12
Figura 9 Instrumento OSIRIS [5] .....	13
Figura 10 Modelo del barril de la cámara OSIRIS. (a) Vista isométrica, (b) Vista isométrica en corte. [5] .....	13
Figura 11 Mecanismo para enfoque y alineamiento del espectrógrafo Echelle. [6] .....	14
Figura 12 Diagrama de bloques de un sistema de óptica adaptativa. [7].....	15
Figura 13 Ejemplo de un espejo segmentado. ....	16
Figura 14 Telescopios del OAN Tonantzintla. Cassegrain (izquierda), Carta al cielo (derecha). [8] .....	20
Figura 15 El OAN sede San Pedro Mártir, Baja California, México. [8] .....	21
Figura 16 Diagrama de la metodología del diseño por Morris Asimov. ....	25
Figura 17 Metodología del diseño proceso directo .....	26
Figura 18 Metodología del diseño proceso retroalimentado.....	26
Figura 19 Esquema para la implementación del instrumento Berkut .....	36
Figura 20 El Telescopio de 1m Tonantzintla configuración actual .....	37
Figura 21 Esquema general del instrumento Dragón. ....	38
Figura 22 Esquema general del instrumento Tohtli.....	39
Figura 23 El instrumento Tohtli. ....	41
Figura 24 Esquema general de Berkut.....	44

Figura 25 Platina del Telescopio de 1m.....	45
Figura 26 Interfaz de conexión con el telescopio. Tohtli (izquierda), Berkut (derecha).....	45
Figura 27 Interfaz de conexión de Tohtli. Sin cámara con CCD (izquierda), con la cámara con CCD montada.....	46
Figura 28 Interfaz de conexión de Berkut (superior izquierda), Con rueda de filtros y cámara con CCD montados (superior derecha) y explosión de elementos donde se aprecia la montura para rueda de filtros y el anillo acoplador de la cámara con CCD. ....	47
Figura 29 Forma actual de Tohtli con barras sólidas. ....	48
Figura 30 Especificaciones del perfil de aluminio comercial .....	48
Figura 31 Sustitución de barras por perfiles de aluminio en Berkut.....	49
Figura 32 Estructura básica de Berkut.....	49
Figura 33 Ubicación del soporte para lente objetivo. Tohtli (izquierda), Berkut (derecha).....	50
Figura 34 Tuerca cabeza de tornillo y modo de fijación en el perfil de aluminio. ....	51
Figura 35 Estructura general de Berkut con todos sus elementos.....	51
Figura 36 El instrumento Berkut con cubiertas de acrílico. ....	52
Figura 37 Análisis de tensión y deformación de la estructura de Berkut .....	54
Figura 38 Plataforma de movimiento lineal. ....	55
Figura 39 Circuito electrónico fuente de poder.....	57
Figura 40 Circuito electrónico controlador de motor. ....	58
Figura 41 Tarjeta de desarrollo Nexys 3.....	59
Figura 42 Berkut con la ubicación de los interruptores de posición. ....	60
Figura 43 Diagrama a bloques de la tarjeta de control. ....	62
Figura 44 Conexiones físicas de la tarjeta de control.....	62
Figura 45 Interfaz de control. Ambiente del programador.....	64
Figura 46 Interfaz de control. Pantalla del usuario.....	65
Figura 47 Esquema general de integración de Berkut .....	67
Figura 48 La estructura del instrumento Berkut completamente ensamblado.....	68
Figura 49 Berkut ensamblado con cubiertas antireflejante. ....	69
Figura 50 Berkut ensamblado con las tarjetas electrónicas.....	70
Figura 51 Berkut dentro de su gabinete para transportación. ....	71
Figura 52 Herramienta para la integración de Berkut .....	73
Figura 53 La platina de conexión del telescopio .....	73
Figura 54 Colocación de extensión ya que no se cumple con la distancia requerida. ....	74
Figura 55 Integración de la estructura de Berkut con la platina del telescopio. ....	74

Figura 56 Berkut integrado a la platina del telescopio mediante una extensión. .....	75
Figura 57 Montaje de la rueda de filtros y de la cámara con CCD. ....	75
Figura 58 Berkut completamente integrado al telescopio de 1m. ....	76
Figura 59 La interfaz de usuario instalada en una computadora de la sala de control. ....	76
Tabla 1 Condiciones atmosféricas en el OAN Tonantzintla. ....	34
Tabla 2 Características operativas y funcionales a considerar en el diseño de Berkut. ....	34
Tabla 3 Componentes que conforman Tohtli.....	41
Tabla 4 Detección de mejora continua para ser realizada en Berkut.....	42
Tabla 5 Características actuales de Tohtli y deseadas. ....	43
Tabla 6 Restricciones operativas.....	53
Tabla 7 Esfuerzos y deformaciones máximos. ....	53
Tabla 8 Secuencia de pulsos de movimiento para motor a pasos.....	55
Tabla 9 Comandos ejecutables por la tarjeta de control. ....	61
Tabla 10 Conexiones físicas y tipo de cable a utilizar en la tarjeta de control. ....	63
Tabla 11 Lista de herramienta para la integración de Berkut. ....	72
Tabla 12 Requerimiento y soluciones.....	78
Tabla 13 Elementos que conforman Berkut. ....	79
Tabla 14 Peso de los elementos de Berkut. ....	79



# RESUMEN

**E**xisten diversos factores que hacen que la observación astronómica sea difícil para los astrónomos; uno de ellos es la atmósfera. La luz que una estrella emite se refracta cuando pasa por la atmósfera de la Tierra; el resultado de esto es que la imagen de una estrella puntual no es lo que la física nos llevaría a esperar. En el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) un instrumento ha sido desarrollado llamado "Berkut", que utiliza una técnica de alta resolución para mejorar estos efectos y obtener estudios científicos interesantes y valiosos.

En esta tesis se presenta la ingeniería inversa y concurrente, así como las pruebas de aceptación de Berkut. Este instrumento fue diseñado para mantener estabilidad de sus componentes y tomar imágenes de alta resolución. En esencia, está compuesto por un conjunto de elementos ópticos como son lentes objetivos, rueda de filtros y una cámara con CCD (Charge Coupled Device), que se alinean con el foco de un telescopio de clase 1 metro. También cuenta con componentes electrónicos que permiten controlar de forma remota la posición de los objetivos y la selección del filtro de acuerdo con los requisitos del observador. La adquisición de imágenes por parte de la cámara con CCD será de varias imágenes por segundo y éstas a su vez son utilizadas en la técnica de alta resolución denominada interferometría de motas.

Un proyecto como Berkut debe ser multidisciplinario; astronomía, ingeniería, óptica, mecánica, electrónica y procesamiento de imagen, son algunas de las áreas de conocimiento que intervienen dentro de su diseño y funcionamiento.

Berkut se utilizará en el telescopio del Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla, situado en el estado de Puebla, México; sin embargo debido a su forma de diseño éste puede ser utilizado en cualquier telescopio de clase 1 metro. Se pretende construir otros Berkuts para ser utilizados simultáneamente en diferentes telescopios, por lo que lo que es importante mantener los costos lo más bajo posible. Con este instrumento se desea confirmar el catálogo Hipparcos de estrellas binarias además de encontrar exoplanetas.

# ABSTRACT

Several factors make observational astronomy difficult for astronomers; one of them is the atmosphere. The light that a star emits is refracted when it goes through the earth's atmosphere; the result of this is that the image of a punctual star is not what the physics would lead us to expect. At the Instituto de Astronomia of the Universidad Nacional Autonoma de México (IA-UNAM) an instrument has been developed called "Berkut", which uses a high resolution technique to improve these effects and obtain interesting and valuable scientific studies.

In this thesis reverse and concurrent engineering, as well as acceptance testing of Berkut is presented. This instrument was design to maintain stability aspects of its components and make high resolution images. Essentially, it is composed by a set basic optics which is aligned and in focus with a 1- meter class telescope. It has its own electronic components for controlling remotely a filter wheel; that allows the exchange of the filters according to the requirements of the observer, a couple of objectives mounted in a translation stage, and a CCD camera for acquiring several images per second that are used in the speckle interferometry technique.

A project like Berkut needs to be multidisciplinary; astronomy, engineering, optics, mechanics, electronics, and image processing are some of the areas of knowledge used.

Berkut will be used in the telescope of the Observatorio Astronomico Nacional in Tonantzintla, located in the state of Puebla, Mexico, but it can be used in any telescope 1 meter class. It is pretended to build another Berkuts for being used simultaneously in different telescopes, so it is important to keep the costs as low as possible. With this instrument we pretend to confirm the Hipparcos catalogue of binary stars besides finding exoplanets



# INTRODUCCIÓN.

**E**l campo de estudio de la Astronomía son los cuerpos celestes del universo, sin embargo existen diversos factores que dificultan las observaciones astronómicas para los astrónomos, uno de estos factores es la atmosfera terrestre. La luz que un cuerpo celeste emite es refractada cuando pasa a través de la atmosfera, como resultado de esto la luz que emite el cuerpo celeste y que se recibe en los instrumentos terrestres no representa necesariamente lo que se desea observar o lo que los astrónomos esperan, es decir puede tratarse de un cuerpo celeste, de más de uno o ninguno. Es por ello que en el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México se ha desarrollado un instrumento denominado “Instrumento Berkut de alta resolución”, éste utiliza la técnica de interferometría de motas para corregir los efectos causados por la atmosfera terrestre. El instrumento Berkut se desarrolló para ser utilizado acoplado a una clase de telescopio denominado clase 1 metro (esto quiere decir que el diámetro de su espejo primario es de 1 metro), que es el medio por el cual los astrónomos captan la luz proveniente de los cuerpos celestes del espacio.

En este trabajo se presenta la ingeniería inversa del instrumento Berkut, es decir este instrumento al contar con un antecedente se han analizado y evaluado las principales características de los diversos sistemas que conformaban dicho instrumento para incorporar mejoras y dar como resultado esta nueva versión de Berkut. También se realizaron las pruebas de aceptación de los mismos y en su caso se proponen mejoras a llevar a cabo próximamente. Otra característica adicional que se pretendía pero con la que no contaba Berkut, era la función de control automático o semiautomático, el cual se ha logrado en esta ocasión y también se incluye dentro de este trabajo.

De manera general la conformación del instrumento Berkut es como se describe a continuación:

Berkut fue diseñado para tomar imágenes de alta resolución, consta de un sistema óptico que es alineado con el foco del telescopio de clase 1 metro, de un sistema electrónico que controla de forma remota una rueda de filtros que permite al operador elegir el filtro adecuado para la observación, también

controla una barra de desplazamiento lineal sobre la cual se encuentran montados dos objetivos que al igual que en el caso de la rueda de filtros pueden ser elegidos de forma remota por el operador. Por último cuenta con una cámara con CCD que adquiere una gran cantidad de imágenes por segundo y son éstas las que se utilizan en la técnica de interferometría de motas. Todos estos parámetros son controlados y elegidos a través de una interfaz amigable desarrollada exclusivamente para este propósito y que cualquier persona es capaz de operar sin la necesidad de contar con conocimientos previos o profundos acerca del instrumento.

La estructura en la que presenta la información sobre el desarrollo y las pruebas realizadas al instrumento Berkut y que conforman el contenido de este trabajo es la siguiente:

En el Capítulo 1 se analiza de una forma general el objetivo que motivo el desarrollo del instrumento Berkut. Así mismo se presentan algunos instrumentos y técnicas utilizados en conjunto con los telescopios para llevar a cabo las correcciones de las imágenes observadas.

El Capítulo 2 recaba los principios teóricos sobre los cuales se desarrolló el instrumento Berkut, comenzando con una breve explicación acerca de los telescopios su clasificación y su uso, continuando con la interferometría de motas y los fundamentos del diseño mecánico y el diseño electrónico.

En el Capítulo 3 se presenta paso a paso y con base en un método de diseño establecido, la ingeniería inversa y concurrente aplicada a los instrumentos anteriores sobre los cuales se basa Berkut, con el fin de obtener una versión actual que cubra los detalles observados por los usuarios en dichas versiones anteriores. Se presenta de igual forma el desarrollo del sistema electrónico que le permite tener un control semiautomático y que representa una novedad en esta versión.

En el Capítulo 4 se presentan la integración y pruebas realizadas de Berkut con el telescopio de clase 1 metro del Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla, Puebla.

El Capítulo 5 hace un recuento de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y se llega a las respectivas conclusiones. Se presentan una serie de recomendaciones que pueden llevarse a cabo para mejorar la calidad del instrumento Berkut.

Finalmente, se adicionan los anexos respectivos como planos de las piezas manufacturadas, y algunas tablas de datos importantes.

Berkut ha sido instalado en el telescopio de clase 1 metro que se encuentra en el Observatorio Astronómico Nacional ubicado en Tonantzintla, Puebla, sin embargo la forma en que este instrumento ha sido desarrollado le permite la facilidad de poder ser instalado en cualquier otro telescopio de clase 1 metro.

# CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO.

**L**a Astronomía es la ciencia que se encarga del estudio de los cuerpos celestes que se encuentran en el espacio. Los astrónomos a lo largo de la historia de la humanidad han utilizado una gran cantidad de métodos para ello, aunque todo comenzó con la observación directa del cielo y posteriormente a través de instrumentos ópticos.

Continuando con sus estudios de los astros los astrónomos se han encontrado con el vasto tamaño del universo y por ende los cuerpos se encuentran a distancias lejanas y la captación de luz es aún más difícil por lo que ya no es posible el estudio de estos con instrumentos convencionales, aunado a esto el desarrollo de las civilizaciones actuales y el crecimiento de los asentamientos urbanos han provocado una gran cantidad de contaminación lumínica que impide la observación de los cuerpos celestes desde cualquiera de estas zonas. Es por esta razón que la Astronomía al igual que muchas otras ciencias ha recurrido al uso de la tecnología para continuar con su objeto de estudio, dentro de estos instrumentos tecnológicos el de mayor uso es el telescopio. La capacidad de captar luz del telescopio está directamente relacionada con el tamaño de su espejo primario, por lo tanto entre mayor sea la dimensión del espejo primario mayor será la captación de luz, sin embargo debido a que no todas las observatorios astronómicos cuentan con un telescopio de grandes dimensiones y la construcción de uno nuevo supondría una gran inversión económica, se vuelve necesario el desarrollo de instrumentos auxiliares que ayuden al telescopio a incrementar su potencial.

## *1.1 Principales Instrumentos Astronómicos.*

### **1.1.1 El Telescopio y su evolución a través del tiempo.**

El telescopio es un instrumento que marcó un antes y un después en la observación celeste. Permitió ver los objetos celestes con más detalle, y esto supuso no sólo una revolución en el conocimiento, sino también una revolución en la sociedad. En este sentido, son especialmente relevantes las observaciones de la Luna que realizó Galileo Galilei en 1609 y que le hicieron enfrentarse a la Iglesia Católica años más tarde por ir en contra de las doctrinas oficialmente establecidas en la sociedad de aquel tiempo. Los telescopios evolucionaron y se hicieron más grandes. Después de los primeros telescopios refractores (como el usado por Galileo) se desarrollaron telescopios reflectores (como el usado por Newton), que podían hacerse más grandes para captar una mayor cantidad de luz. Por otro lado, conscientes de que el espectro visible recogía sólo una parte de la información que llegaba del exterior, la comunidad científica desarrolló radiotelescopios, que dieron lugar a descubrimientos tan relevantes como el de la radiación de fondo (Penzias y Wilson), un vestigio del Big Bang. Los grandes telescopios ópticos terrestres de la actualidad siguen manteniendo el principio de funcionamiento de los telescopios originales, pero la tecnología que usan dista mucho de la de antaño. La óptica adaptativa y la interferometría óptica han permitido mejorar la resolución de las imágenes capturadas por los telescopios. La primera permite construir telescopios de mayor tamaño sin que las turbulencias de la atmósfera influyan apreciablemente en la calidad de la imagen. La interferometría, por otro lado, permite combinar varias imágenes para mejorar su resolución, proporcionando imágenes similares a las obtenidas con un telescopio mayor. [1]

#### **1.1.1.1 Principio de funcionamiento**

El fin del telescopio es conseguir una imagen de un objeto lejano que nos brinde una mayor cantidad de información de la que se obtendría con el ojo desnudo. Para esto los telescopios emplean una combinación de lentes y/o espejos que alteran el frente de onda luminoso procedente del objeto de tal forma que el tamaño angular del objeto aumenta. Dependiendo de si el elemento principal de un telescopio es una lente o un espejo podemos clasificarlos en refractores y reflectores, respectivamente. En lo siguiente se referirá a ellos como elementos ópticos. [1]

Los elementos ópticos que intervienen en la gran mayoría de sistemas ópticos se construyen de tal forma que un haz de rayos paralelos que incide sobre el elemento se transforma, tras interactuar con él, en otro haz de rayos que se intersecan en un punto del espacio denominado foco (F). Si los rayos se encuentran en dicho punto tras salir del elemento se dice que convergen hacia ese punto y entonces el elemento es convergente. Si no se encuentran en dicho punto, los rayos divergen y el elemento es divergente. [1]



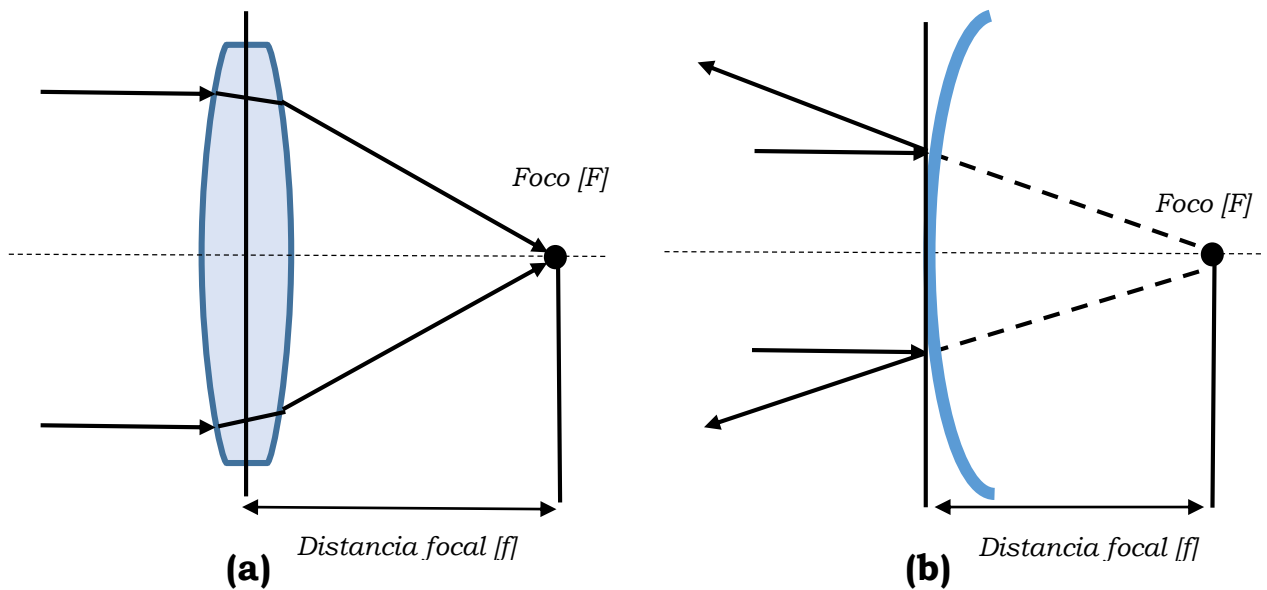


Figura 1 Ejemplos de elementos ópticos (a) Lente convergente, (b) Espejo divergente [1]

La distancia focal ( $f$ ) de un elemento se define como la distancia entre el elemento y el punto de intersección de los haces (Figura 1). Normalmente se usa el signo de la distancia focal para denotar la calidad de convergente o divergente de un elemento. Para los elementos convergentes  $f > 0$  y para los divergentes  $f < 0$ .

En esencia, cuanto mayor es la distancia focal del elemento principal de un telescopio mayor es el tamaño de la imagen que forma de un objeto lejano. Los rayos procedentes de un punto de un objeto lejano se pueden considerar paralelos debido a su gran distancia al telescopio. Por tanto, la imagen de dicho punto se formara a una distancia focal del elemento principal del telescopio. Es esta imagen formada por el elemento principal la que el astrónomo (o cualquier otro dispositivo o sensor que lo sustituya) observa usando un conjunto de lentes: el ocular. El ocular no es más que una "lupa" (un sistema de lentes convergente) que aumenta la imagen que forma el elemento principal del telescopio. Este fenómeno permite determinar la posición y tamaño de la imagen de un objeto lejano. En la Figura 2, al ser el haz sin desviación una recta que se aleja del eje óptico del elemento, cuanto mayor sea la distancia focal, mayor será la imagen del objeto lejano. La expresión exacta del aumento transversal de la imagen es:

$$M_T = -\frac{f}{x_0}$$

Donde  $x_0$  es la distancia al objeto lejano. La expresión de  $M_T$  deja claro que el tamaño de la imagen del objeto es proporcional a la distancia focal. [1]

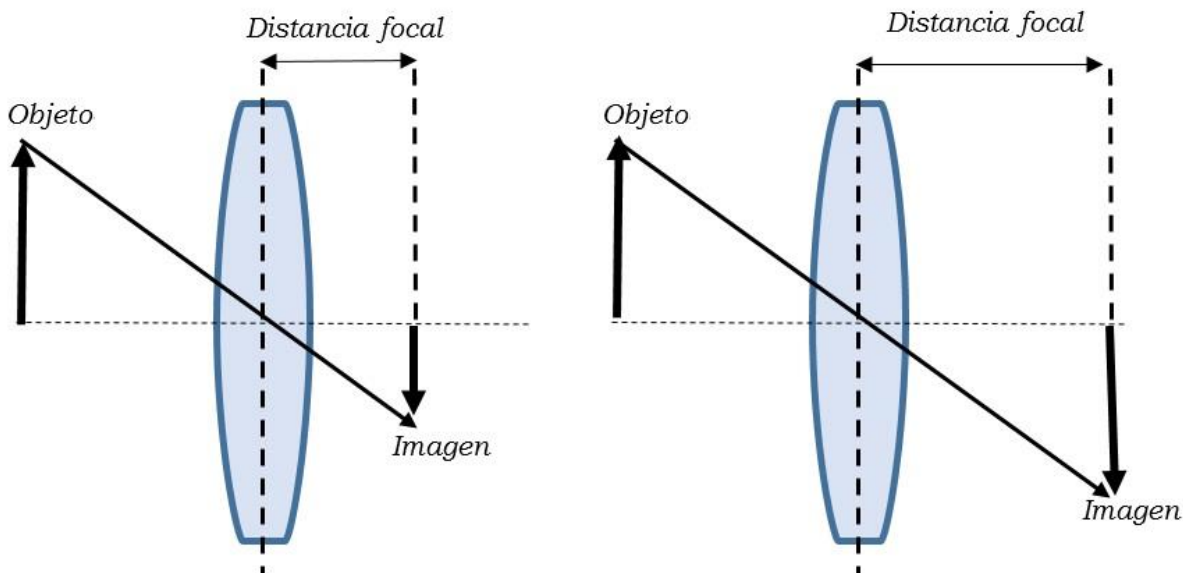


Figura 2 Relación de la distancia focal con respecto al tamaño de la imagen del objeto lejano, a mayor distancia focal mayor es el tamaño de la imagen. [1]

La cantidad de luz que entra en un telescopio es directamente proporcional al cuadrado de su diámetro  $D$  y la intensidad de la luz que llega al plano imagen es proporcional al diámetro del elemento dividido entre la distancia focal al cuadrado  $(D/f)^2$ . Una implicación de lo anterior es que no es posible aumentar la distancia focal del elemento indefinidamente sin aumentar el diámetro de la abertura, puesto que se perdería intensidad y el objeto se volverá inapreciable. Sin embargo, si la distancia focal es pequeña el aumento también lo será y la potencia de aumento del telescopio no será buena. Por tanto, si se quiere construir un telescopio con mayor potencia de aumento, no solo habrá que aumentar la distancia focal del elemento sino también su diámetro. Esto explica el por qué se usa el adjetivo “grande” cuando se habla de los grandes telescopios ópticos. [1]

### 1.1.2 Instrumentos convencionales utilizados en telescopios.

El incrementar el potencial de un telescopio requiere de instrumentos auxiliares acoplados a éste, dentro de los más utilizados se encuentran los siguientes:

#### 1.1.2.1 Cámara

La cámara más simple es un detector colocado directamente en el plano focal del telescopio (Figura 3). Si las aberraciones del telescopio, especialmente la curvatura de campo, son despreciables, se evita la óptica adicional y por lo tanto se beneficia de un alto rendimiento. La principal desventaja es que los filtros están en el haz convergente y su espesor óptico modifica el enfoque. Otra desventaja es que los filtros pueden ser muy grandes, especialmente en el caso

de las cámaras de campo amplio, y la óptica debe de ser extremadamente buena, ya que cualquier defecto afectará directamente a la calidad de imagen en el foco. [2]

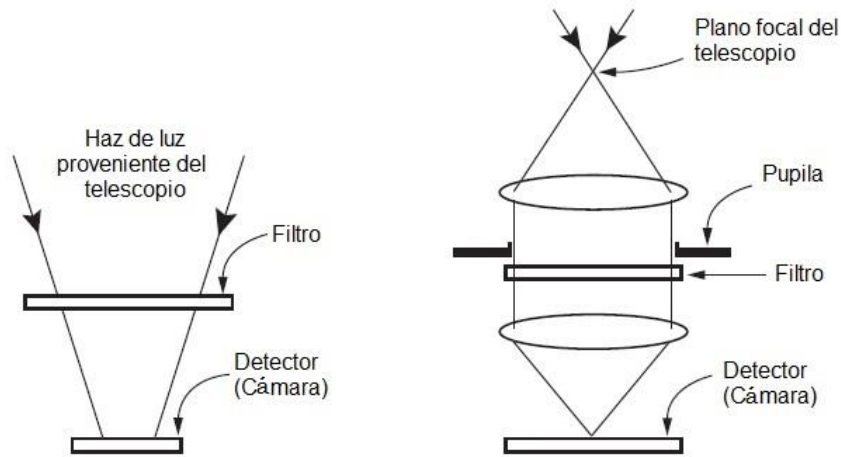


Figura 3 Esquema básico de cámaras: colocada directamente en el plano focal del telescopio (izquierda), y colocada después de un colimador de haz (derecha). [2]

### 1.1.2.2 Fotómetro

Un fotómetro es un instrumento que mide el brillo de una sola fuente en un paso de banda espectral dada. Con la aparición de alta eficiencia detectores bidimensionales de alta calidad fotométrica, tanto en el visible y el infrarrojo, la fotometría de precisión ahora es posible con cámaras fotoeléctricas modernas. La principal diferencia entre una cámara y un fotómetro es que, en un fotómetro, el detector no está colocado en el foco. (Figura 4). [2]

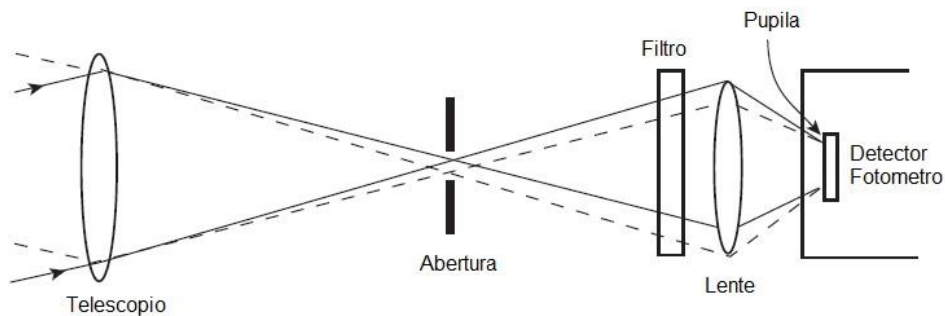


Figura 4 Esquema básico del fotómetro [2]

### 1.1.2.3 Polarímetro.

La luz puede ser polarizada bajo una variedad de condiciones y esto puede revelar características importantes de la fuente emisora. La manera más simple para

medir la polarización es colocar un material birrefringente en el haz entrante y girarlo para determinar la intensidad máxima y, por tanto, la dirección de polarización. Pero esta medición podría verse afectada por la polarización causada por la óptica en el propio instrumento. Por tanto, una solución mejor es introducir un retardador en el camino óptico con la mayor anticipación posible en el instrumento, y luego usar un polarizador fijo para medir la polarización (Figura 5). Tal sistema puede ser incorporado en frente de un fotómetro, de una cámara o del espectrómetro. [2]

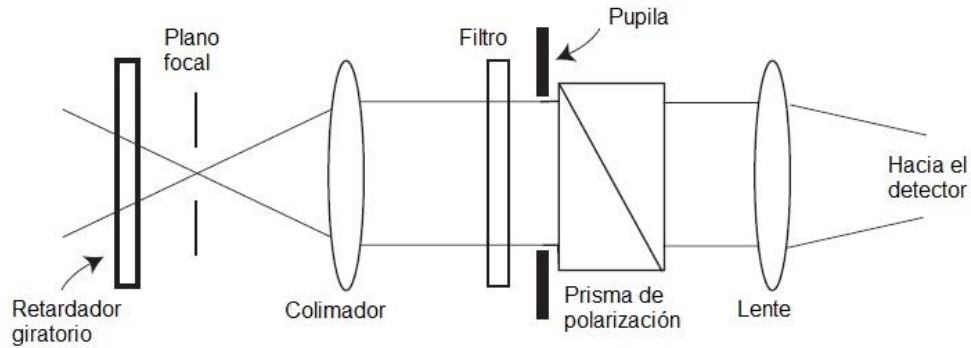


Figura 5 Esquema básico de polarímetro [2]

#### 1.1.2.4 Espectrómetro de dispersión

Los espectrómetros de dispersión se basan en la dispersión de la luz blanca en sus longitudes de onda constituyentes a través de un prisma o una rejilla de difracción. Las rejillas de difracción son generalmente del tipo de reflexión. Estos "rendijas de Young" difractan la luz entrante, produciendo interferencias destructivas, a excepción de las direcciones específicas que son una función de la longitud de onda. Los prismas se utilizan generalmente para baja dispersión espectral y rejillas para alta dispersión. Las disposiciones básicas para los dos tipos de espectrómetro se muestran en la figura 6. En ambos casos, la luz de la fuente observada entra en el espectrómetro a través de una hendidura y se colima para iluminar el elemento de dispersión. La lente de colimación o espejo también se utiliza para formar una pupila real en el elemento de dispersión de modo que la dispersión será la misma para todos los ángulos de campo. La luz que emerge desde el elemento de dispersión es capturada por una lente o espejo, que forma imágenes de la hendidura en el detector, uno para cada longitud de onda dispersa, dando como resultado un "espectro." [2]

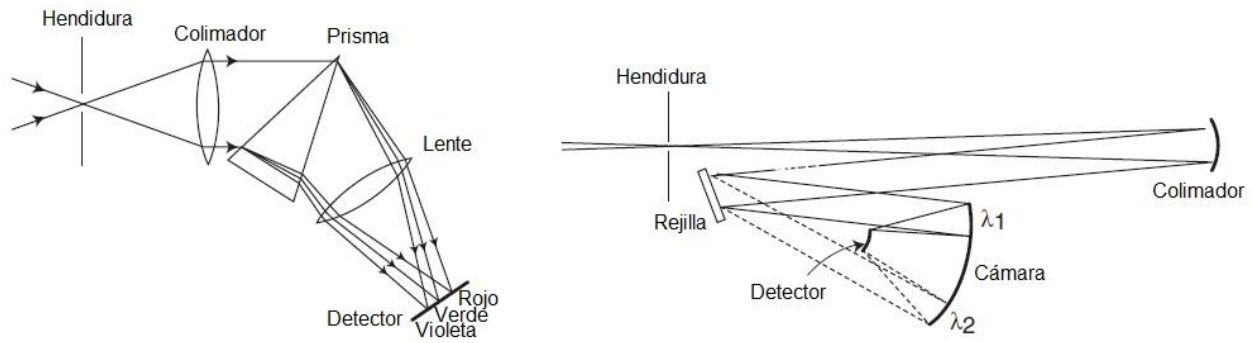


Figura 6 Esquema básico de espectrómetros: de prisma (izquierda) y de rejilla (derecha). [2]

Independientemente del tipo de espectrómetro que se utiliza, es generalmente ventajoso "ampliar" artificialmente los espectros con el fin de hacer las características espectrales más visibles. Esto se logra moviendo la imagen a lo largo de la rendija, ya sea mediante el control del señalador del telescopio o por "bamboleo" de una placa de vidrio en frente de la hendidura. [2]

## 1.2 Técnicas aplicadas en Astronomía para la obtención de imágenes.

La revolución tecnológica de la astronomía y las nuevas inquietudes ante lo desconocido marcan el progreso en la investigación científica. En este contexto nace un conjunto de técnicas que ayudan a interpretar de manera más exhaustiva la información del cosmos que llega hasta nosotros en forma de radiación. Todos los instrumentos mencionados requieren de sistemas que sean espacialmente estables, es decir sin cambios dimensionales en el tiempo de operación, bajo las condiciones ambientales, y cumpliendo las especificaciones para las cuales fueron creados. Es por esto que se han desarrollado técnicas mecánicas para darle rigidez a los instrumentos, y técnicas ópticas para minimizar los efectos no deseados.

### 1.2.1 Técnicas mecánicas

En este sentido no se puede hablar de una técnica especial o general que se tenga para llevar a cabo la obtención de imágenes, sino más bien de sistemas mecánicos que permitan a los instrumentos una alineación exacta con el telescopio y que no sufrirán desenfoque independientemente de los movimientos que se realicen. Estos sistemas son desarrollados específicamente para cumplir una tarea en particular por lo que son únicos y no comerciales, desarrollados en centros de investigación y/o universidades, como parte de un desarrollo aún mayor. Ejemplo de estos sistemas son los desarrollos que se mencionan a continuación:

### 1.2.1.1 Dispositivo de alineación para GAIA M2M

La empresa SENER Aeroespacial desarrolló el M2M para ASTRIUM SAS, el M2M es un mecanismo de posicionamiento con 5 grados de libertad que permite el movimiento y ajuste del espejo secundario (M2M) de cada uno de los dos telescopios GAIA (“Astro1” y “Astro2”) para asegurar la calidad óptica requerida en órbita, necesaria para la recuperación de los desalineamientos de los telescopios debido a la diferencia de condiciones entre tierra y espacio. [3]

Principales funciones:

Método de posicionamiento basado en motor paso a paso.

Ajuste en los tres grados de libertad de translación.

Ajuste en dos grados de libertad de rotación.

Resolución lineal  $<0,050 \mu\text{m}$ .

Resolución angular  $<5\mu\text{rad}$ .

Rango de funcionamiento lineal  $500 \mu\text{m}$ .

Rango de funcionamiento angular  $2\text{mrad}$ .

Precisión de  $2 \mu\text{m}$  para ajustes lineales.

Precisión de  $30 \mu\text{rad}$  para ajustes angulares.

Rango de temperatura operacional del mecanismo de  $100\text{K}$  a  $323\text{K}$ .

Electrónica compacta para el mando y control de dos mecanismos gemelos (hasta 10 grados de libertad).

Cableado especial para la conexión de los mecanismos a la electrónica con baja conductividad térmica.

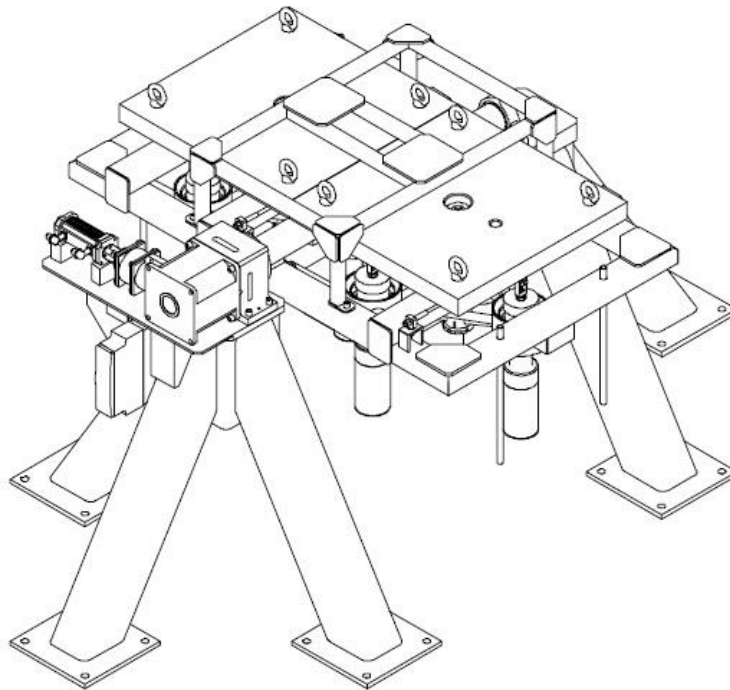


Figura 7 Dispositivo de alineación para GAIA M2M [3]

### 1.2.1.2 Banco de pruebas para la estructura de espejo primario de GTC.

El banco de pruebas fue construido de tal manera que simula el comportamiento dinámico esperado de la estructura del telescopio y la celda del espejo primario. Consta con dos segmentos móviles montados en una estructura de célula que se puede mover en elevación. Con este banco de pruebas, se investigan las propiedades dinámicas del sistema de control, su ancho de banda alcanzable y su capacidad de atenuar los efectos de la carga de viento sobre la estructura del

telescopio. La frecuencia de su primer modo de vibración es 7.7 Hz, que corresponde a mover toda la célula en la elevación. El segundo modo de 19 Hz corresponde a la celda deformación. Los siguientes seis modos de vibración, que están en el rango de 25 Hz – 31 Hz, corresponden a las vibraciones de un segmento en su sistema de apoyo. Cualquier otro modo de vibración tiene frecuencias superiores a 50 Hz. [4]



*Figura 8 Banco de pruebas del espejo primario del GTC [4]*

### **1.2.1.3 Barril de la cámara del instrumento OSIRIS**

El diseño del barril de una cámara, localizada en el instrumento astronómico OSIRIS del Gran Telescopio Canarias (GTC), es descrito en la referencia [5]. Su diseño y su manufactura fueron desarrollados por el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), España. La cámara está compuesta de ocho lentes (tres dobles cementados y dos singletes), con sus respectivos soportes y celdas; así como dos unidades; la Unidad de Enfoque, que consiste de un mecanismo que modifica la posición relativa del primer doblete; y la Unidad Pasiva de Desplazamiento, la cual usa el tercer doblete para mantener la distancia focal y la calidad de la imagen cuando la temperatura varía.

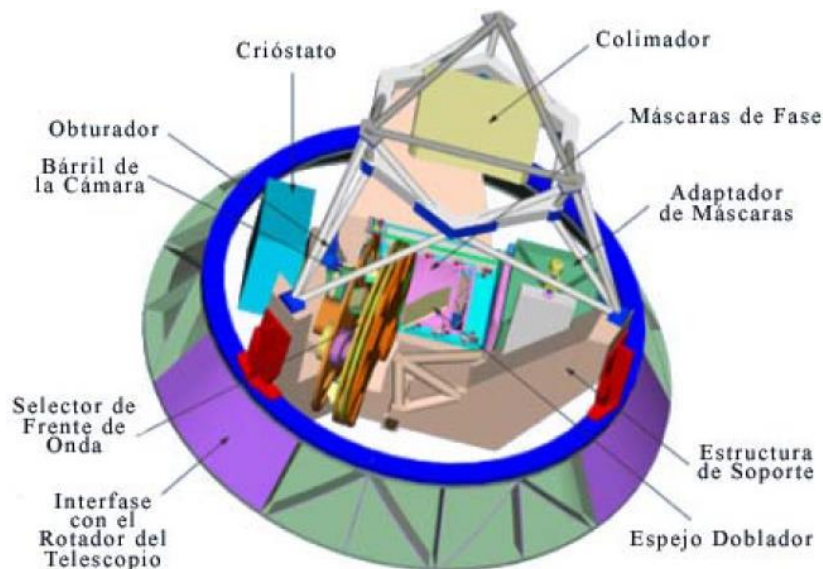


Figura 9 Instrumento OSIRIS [5]

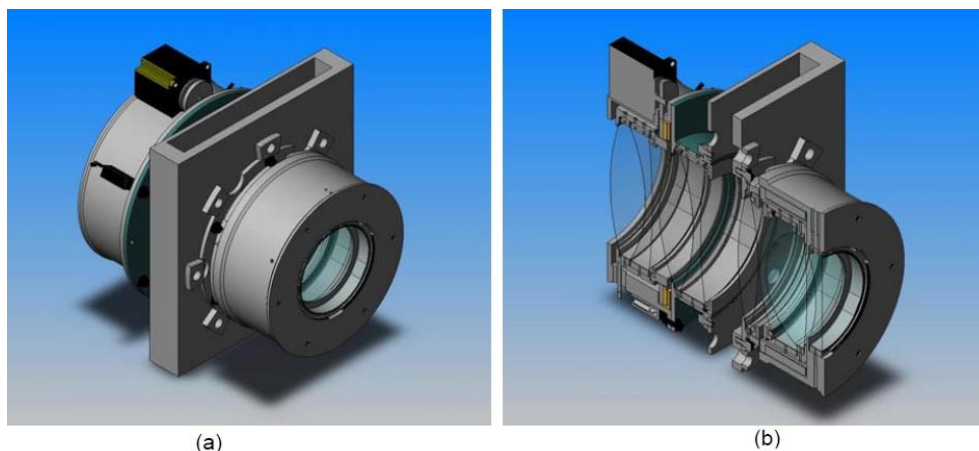


Figura 10 Modelo del barril de la cámara OSIRIS. (a) Vista isométrica, (b) Vista isométrica en corte. [5]

#### 1.2.1.4 Mecanismo para la alineación y enfoque de espectrógrafo Echelle

En la referencia [6] se describe el diseño, caracterización y fabricación de una interfaz o mecanismo destinado para alinear y enfocar una lente de un espectrógrafo tipo Echelle que es parte primordial del telescopio de 2.1 metros del Observatorio Astronómico Nacional de la UNAM ubicado en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México. El mecanismo está compuesto funcionalmente de diez piezas: dos semi-abrazaderas, tres perfiles en “L” que fungen como columnas, una placa fija, una placa deslizante y tres sensores digitales que miden la posición relativa entre la base de la cámara del espectrógrafo y el plano de un criostato; éste posee una lente que deberá estar enfocada y alineada con la del espectrógrafo. El criostato está sujeto al



mecanismo que efectuara un movimiento de rotación alrededor de los tres ejes de rotación así como los movimientos de ajuste lineales a lo largo de dichos ejes.

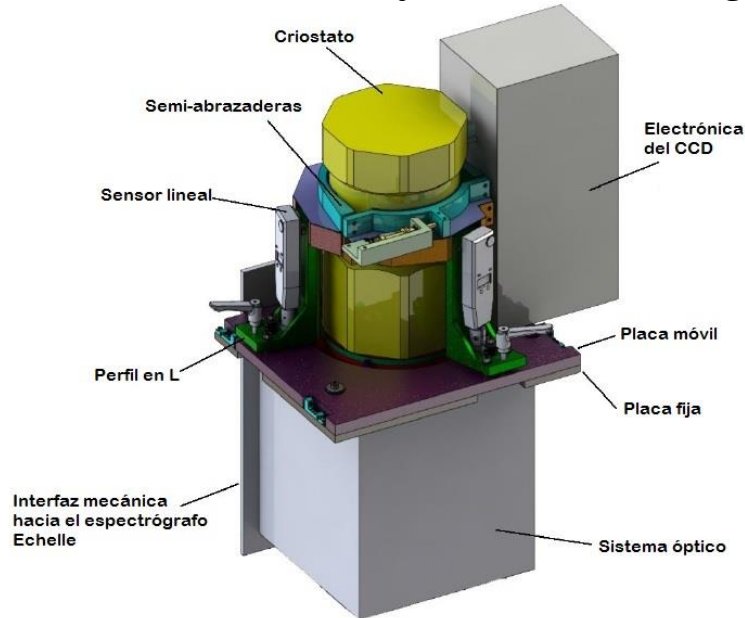


Figura 11 Mecanismo para enfoque y alineamiento del espectrógrafo Echelle. [6]

## 1.2.2 Técnicas ópticas

Estas técnicas son las más usadas para la obtención de imágenes, aunque se clasifican como técnicas ópticas, involucran una gran cantidad de elementos mecánicos y electrónicos para su funcionamiento.

### 1.2.2.1 Óptica adaptativa

La óptica adaptativa consiste en una serie de técnicas instrumentales que permiten corregir o compensar en tiempo real y de forma activa la distorsión inducida por la turbulencia sobre el frente de onda. En el camino óptico que sigue la luz a través del telescopio se actúa mecánicamente sobre ella, deformando uno de los espejos por los que pasa. Los elementos fundamentales de un sistema de óptica adaptativa son: el sensor de frente de onda, este sensor es el “ojo”, el encargado de “ver” la turbulencia atmosférica y de medir la distorsión de fase del frente de onda de la luz recibida; un espejo deformable, este espejo hace las veces de “manos” adapta su superficie para compensar la deformación del frente de onda que incide sobre él, dejando a su salida un frente de onda plano, un conjunto de rayos de luz donde han desaparecido los efectos de la atmósfera; y por último, un sistema de procesado y control, éste es el “cerebro” que se encarga de procesar lo que ven los “ojos”, calcular cuánto se ha deformado el frente de onda de la luz y dar las instrucciones adecuadas al espejo deformable para que se adapte al frente de onda y lo corrija. En la figura 12 pueden verse los elementos fundamentales de un sistema de óptica adaptativa. [7]

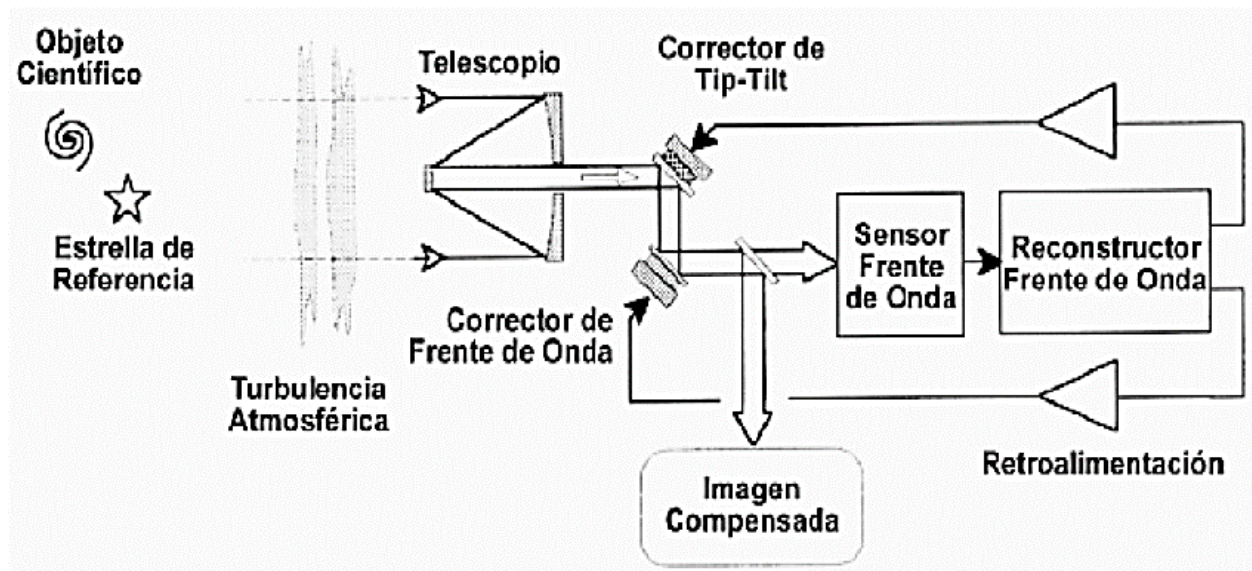


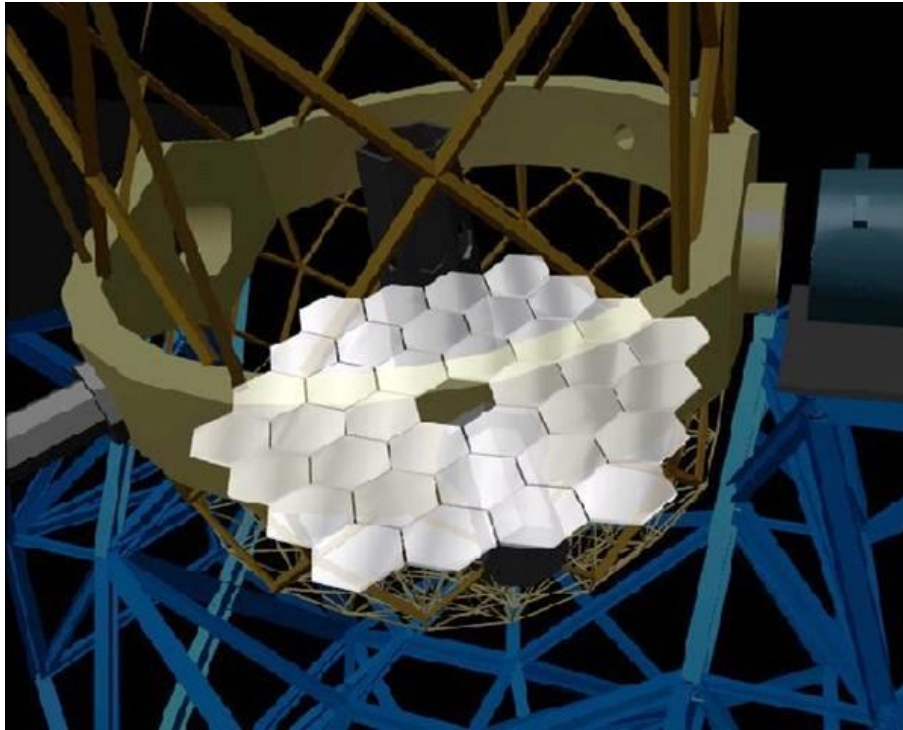
Figura 12 Diagrama de bloques de un sistema de óptica adaptativa. [7]

### 1.2.2.2 Estrellas de referencia láser

En el diagrama de la figura 12 se aprecia el objeto de estudio que se quiere observar y, además una estrella de referencia. La luz que llega de objetos muy lejanos en el espacio es escasa, tienen muy poca intensidad y no es suficiente como para poder coleccionar parte de esa luz y medir el efecto de la turbulencia sobre ella, y mucho menos en tiempo real. Por ello es necesario contar con una estrella brillante (denominada “estrella de referencia” o “estrella guía”) cercana al objeto de estudio lo suficientemente intensa como para poder hacer medidas de frente de onda. La estrella guía además tiene que estar cerca del objeto que se va a observar ya que la turbulencia atmosférica varía espacialmente y las distorsiones de fase en cada punto de la atmósfera son distintas. Para solucionar este problema surgió la idea de crear “estrellas guía artificial” o “estrellas guía láser”. [7]

### 1.2.2.3 Óptica activa

Los espejos de grandes dimensiones tienen problemas intrínsecos de fabricación, instalación y manejo. La solución más atractiva consiste en construir un gran espejo formado por varios segmentos. Esto tiene problemas añadidos, ya que al no ser una superficie continua produce efectos sobre la luz que captan. La separación entre segmentos, la orientación relativa entre ellos y la posición adelantada o retrasada de los mismos introducen aberraciones en la señal óptica. Para corregir esos efectos se instalan sensores en los bordes de los segmentos y se mide el desplazamiento relativo que existe entre cada par de ellos y se compensa en tiempo real mediante actuadores mecánicos sobre cada segmento. Este sistema se encuentra operativo incluso mientras se realizan las observaciones científicas, aplicando correcciones varias veces por segundo. A este proceso se le denomina óptica activa, que no se encarga de corregir efectos de la turbulencia atmosférica sino efectos instrumentales. [7]



*Figura 13 Ejemplo de un espejo segmentado.*

#### **1.2.2.4 Óptica adaptativa multiconjugada**

La óptica adaptativa multiconjugada consiste en corregir la turbulencia atmosférica tridimensionalmente mediante el uso de más de un espejo deformable. Cada espejo deformable se conjuga ópticamente a una altura determinada sobre el telescopio, esto es, se instala en el camino óptico de tal forma que la luz que pasa por él es observada en una capa determinada de la atmósfera. La ventaja que se obtiene con este método es que, combinando la corrección de todos los espejos, el área isoplanática o parte de la imagen que queda corregida de turbulencia es mucho mayor. Las señales de control para los actuadores de cada espejo deformable se obtienen a su vez de varios sensores de frente de onda, cada uno observando su propia estrella guía. [7]

Dentro de estas técnicas se encuentra también la denominada interferometría de motas, el principio sobre el cual se basa y su método de aplicación se presentará en el capítulo siguiente.

### *1.3 Definición del problema*

En México y particularmente en el Observatorio Astronómico Nacional ubicado en la localidad de Tonantzintla, Puebla se cuenta con 2 telescopios de diferentes tamaños; entre ellos en particular se encuentra uno con espejo primario de 1 metro de diámetro, éste ha sido utilizado por los astrónomos del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el

estudio de sistemas binarios. Los sistemas binarios emiten luz de tal forma que resulta imposible definir a simple vista o con ayuda de ciertos telescopios (como es el caso del telescopio de 1 metro), si realmente se trata de un sistema binario o solo una estrella puntual o en el peor de los casos de ninguno de ellos. Aunado a esto la luz al atravesar la atmósfera terrestre es refractada lo que dificulta aún más la posibilidad de llegar a un resultado concluyente. Debido a que no es posible incrementar el diámetro del espejo primario para captar mayor cantidad de luz, ni tampoco es viable la construcción de un nuevo telescopio en la zona, o la incorporación de una de las técnicas ópticas debido a su costo, surge la necesidad de diseñar y construir un instrumento que trabaje en conjunto con el telescopio y que utilizando el principio de la interferometría de motas de alta resolución a imágenes captadas con una cámara fotográfica de alta resolución permita mejorar los resultados obtenidos. Ésta es la función que tiene el instrumento “Berkut de alta resolución” desarrollado en el Instituto de Astronomía de la UNAM.

## *1.4 Objetivo*

Aplicando los principios de diseño, ingeniería inversa e ingeniería concurrente al instrumento Berkut de alta resolución para telescopios de clase 1 metro lograr un diseño mecánico y electrónico optimizado que le permita funcionar de una manera semiautomatizada, así como su integración con el telescopio del Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla, Puebla.

## *1.5 Relevancia y justificación*

Como se ha podido apreciar a lo largo de este capítulo, existe una gran relación entre la ingeniería y la astronomía, y se han desarrollado variedad de instrumentos y técnicas que se emplean para la obtención de imágenes. La utilización de alguna de ellas radica principalmente en el tipo de telescopio a emplear para la observación, del presupuesto con el que se cuenta y la preferencia del astrónomo. De esta forma la relevancia del presente proyecto denominado “Instrumento Berkut de alta resolución” radica en el apoyo en la creación de infraestructura de desarrollo propio que puede ser utilizada en la prestación de servicios o ser ofrecida como una transferencia tecnológica. Adicionalmente, se lleva a cabo el desarrollo de un proyecto en donde se construye un equipo de medición de alta exactitud y capacidad de automatización. En este proyecto participan alumnos y académicos realizando labores de investigación aplicada. Cabe señalar que no se ha diseñado anteriormente en nuestro país un sistema de medición u observación que utilice el principio de la técnica de interferometría de motas para el estudio de los cuerpos celestes lo cual brinda originalidad a este trabajo. Otro punto a destacar es que para el desarrollo de instrumentos de este tipo trabajan conjuntamente

ingenieros de diversas especialidades con físicos y astrónomos, por lo que se conforman equipos multidisciplinarios que se benefician de los conocimientos de los unos a los otros y que finalmente adquieren una formación integral.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

Con el fin de saber más sobre nuestro Universo y entender mejor su origen, los astrónomos han de sumergirse en el abismo del oscuro cielo nocturno en busca de objetos cada vez más lejanos y por lo tanto de luz más débil. En principio, para cumplir este objetivo parece suficiente construir telescopios cada vez más grandes, capaces de captar la escasa luz que nos llega del universo profundo y de proporcionar observaciones de mayor resolución. Sin embargo, esto no es así, mirar el cielo desde la Tierra es como mirar arriba desde el fondo de una piscina llena de agua. La deformación y pérdida de definición que sufre la imagen del exterior de la piscina observada a través del agua es similar al efecto que tiene la atmósfera terrestre sobre la luz que nos llega de los objetos del espacio. En este capítulo se presentan los conceptos y principios que se relacionan directamente con la observación astronómica y que son utilizados para el diseño y desarrollo del instrumento Berkut, comenzando con una breve introducción sobre el Observatorio Astronómico Nacional y el desarrollo de la astronomía en México, continuando con una explicación acerca de la técnica de la interferometría de motas de alta resolución, finalmente se presenta el enfoque de diseño que se seguirá en este trabajo y que en conjunto con los conceptos de ingeniería inversa y concurrente darán la pauta para lograr una mejor comprensión del mismo.

## 2.1 El Observatorio Astronómico Nacional.

El Observatorio Astronómico Nacional (OAN) fue creado durante el gobierno de Porfirio Díaz el 5 de mayo de 1878. En la actualidad cuenta con dos sedes: Tonantzintla, en el Estado de Puebla y en el Parque Nacional de San Pedro Mártir, en Baja California. En sus dos sedes, es operado y administrado por el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA – UNAM).

La sede de Tonantzintla, cuenta con dos telescopios, un Cassegrain de 1 m. de diámetro y otro de 20 cm. de diámetro denominado Carta del Cielo (Figura 14). [8]

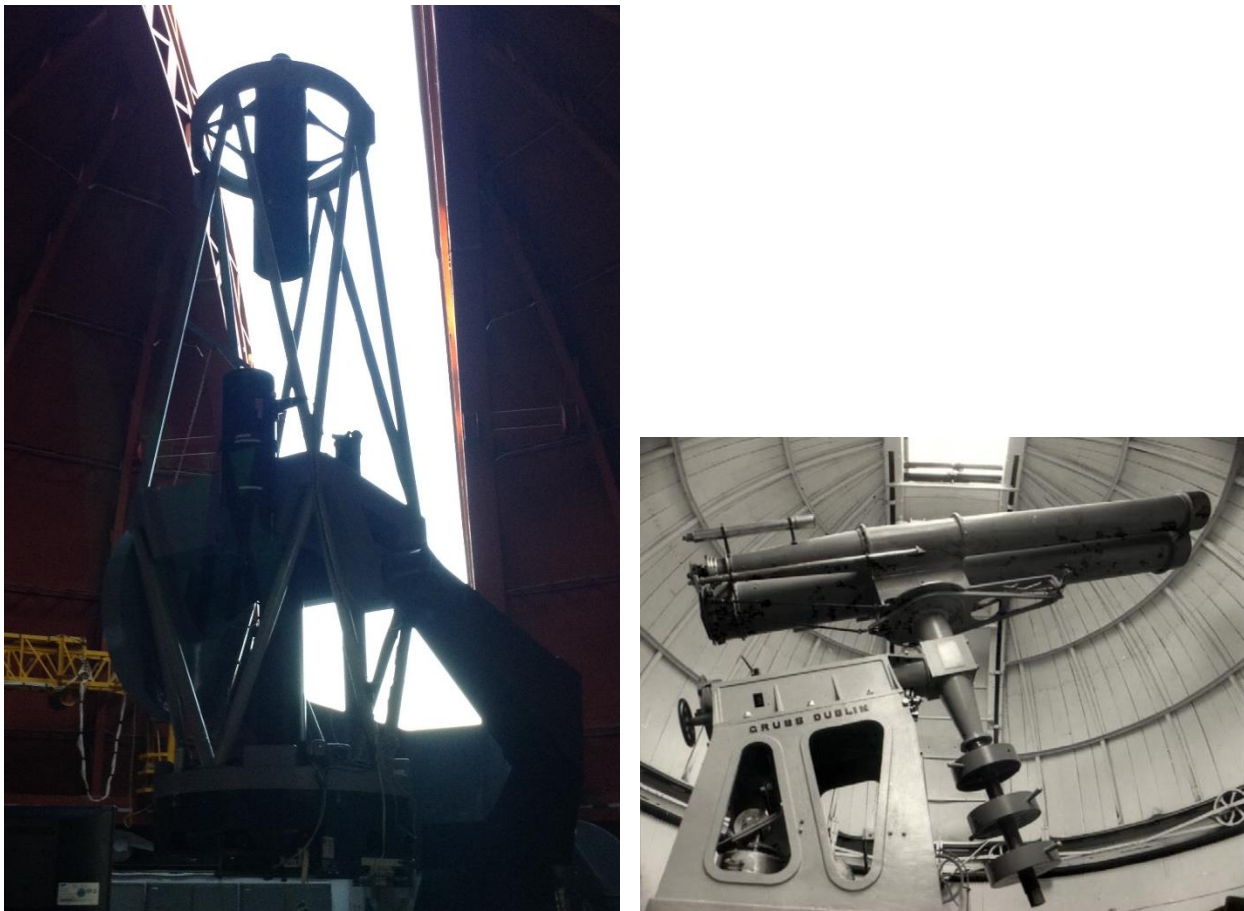


Figura 14 Telescopios del OAN Tonantzintla. Cassegrain (izquierda), Carta al cielo (derecha). [8]

La sede de San Pedro Mártir cuenta con tres telescopios cuyos diámetros son 2.1 m., 1.5 m. y 0.84 m.

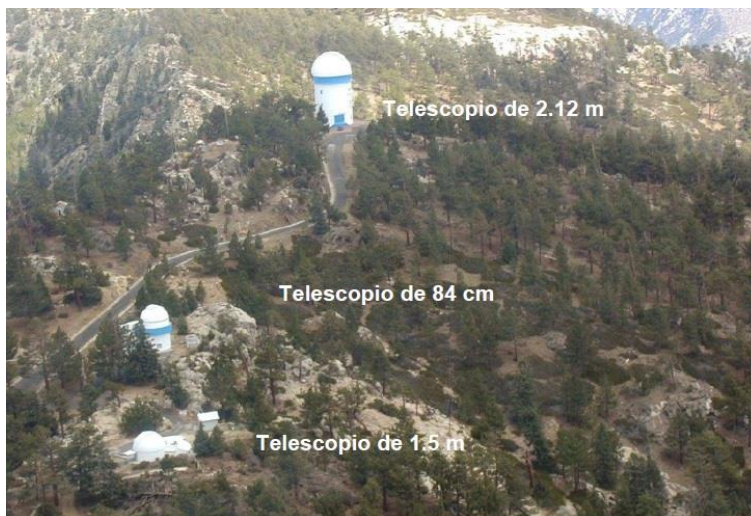


Figura 15 El OAN sede San Pedro Mártir, Baja California, México. [8]

## 2.2 Breve historia de los desarrollos astronómicos en México.

- 1867. Nace el Observatorio en el Palacio Nacional.
- 1878. Se traslada al Castillo de Chapultepec.
- 1908. Inauguración del Observatorio de Tacubaya.
- 1929. El Observatorio se incorpora a la UNAM.
- 1951. Fundación de la estación del Observatorio en Tonantzintla, Puebla.
- 1961. Inauguración del telescopio de 1 m. en Tonantzintla.
- 1967. Se crea el Instituto de Astronomía en la UNAM.
- 1971. La UNAM instala en San Pedro Mártir los telescopios de 84 cm. y de 1.5 m.
- 1979. La UNAM inaugura el telescopio de 2.1 m.
- 1983. El Instituto de Astronomía desarrolla el detector Mepsicrón, en ese entonces lo más avanzado en su tipo en el mundo, y lo emplea en el telescopio de 2.1 m. con uno de sus espectrógrafos.
- 1989. La UNAM junto con el Instituto Tecnológico de Monterrey son las primeras instituciones mexicanas conectadas a la red internacional (lo que ahora es Internet) y el Observatorio se conecta mediante enlaces satelitales.
- 1995. El telescopio de 2.1 m. se convierte en el primer telescopio clásico convertido en activo, mediante un juego de soportes neumáticos.
- 2006. Inauguración del Gran Telescopio Milimétrico, con detección de señal astronómica a 12GHz



- 2009. Año Internacional de la Astronomía e inauguración del Gran Telescopio de Canarias, España, construido con participación de México. [8]

## *2.3 Telescopio de 1 m en Tonantzintla, Puebla.*

En 1961 se inaugura el telescopio de 1 m de diámetro del OAN en Tonantzintla; éste fue un instrumento moderno para su época. Desde entonces se han llevado a cabo diversas observaciones con este telescopio y con sus instrumentos de apoyo. Actualmente continúa en operación, se le renuevan y modernizan los instrumentos para que pueda dar apoyo a investigaciones de interés. También cuenta con la posibilidad de realizar observaciones remotas desde la sede principal del Instituto de Astronomía en Ciudad Universitaria en el Distrito Federal. [8]

### **2.3.1 Instrumentos del telescopio de 1 m.**

Los instrumentos con los que actualmente cuenta el telescopio son:

- Espectrógrafo Cassegrain (Boller & Chivens). Con una rejillas de 400, 600, 830 líneas/mm. Lámpara de comparación de He-Ar.
- CCD-Mil. El sistema marca Photometrics consiste de:
  - Tarjeta controladora de la cámara.
  - Control electrónico y térmico de la cámara.
  - Criostato.
  - Interfaz de usuario, en ambiente Windows.
- Detector Thomson de 1024X1024, adelgazado y con recubrimiento Metachrome 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.
  - Rueda de filtros motorizada.
- Red Ethernet. [8]

### **2.3.2 Características del telescopio de 1 m.**

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 mm
Distancia entre el espejo Primario y el secundario:	3691 mm
Escala de placa:	13.53"/mm [8]

## *2.4 Interferometría de motas (speckle) y alta resolución.*

### **2.4.1 Interferometría en Astronomía**

La idea de utilizar la interferometría en la Astronomía se remonta a 1868, cuando Fizeau propuso un arreglo que consistía en colocar dos divisores de haz en frente de un telescopio, su separación, cuando los patrones de interferencia que cruzaban la imagen de la estrella desaparecían, se podía usar para calcular el ángulo subtendido por la estrella. Desafortunadamente, este experimento no funcionó debido a que la apertura del telescopio no era lo suficientemente grande. Luego, Michelson tomó la propuesta de Fizeau y la aplicó exitosamente para medir el diámetro de los satélites de Júpiter en 1890; y en 1921 se obtuvo el diámetro de Betelgeuse y otras seis estrellas, utilizando un interferómetro de 6 metros montado en el telescopio de 2.5 metros en Mt. Wilson. [9]

### **2.4.2 Concepto de mota o speckle**

Se denomina mota o speckle, a la distribución de intensidad al azar que se forma cuando la luz coherente se refleja en una superficie rugosa a escala de la longitud de onda o se propaga a través de un medio con fluctuaciones del índice de refracción. [10]

### **2.4.3 Interferometría de motas.**

La primera persona que observó las motas fue Newton a partir del centelleo de las estrellas. Con la invención del láser (1960) se observó un moteado en objetos (patrón de speckle), iluminados por una fuente luminosa de alta coherencia. En un principio estos patrones se consideraron como un ruido, ideándose múltiples formas para eliminarlo, aunque pronto se aplicó útilmente la técnica en múltiples campos.

Las técnicas no destructivas tienen un interés creciente en todos los campos de la física aplicada. Dentro de los métodos no destructivos, los métodos ópticos tienen un gran interés dado que permiten realizar distintas mediciones sin interferir en la medida por el contacto físico entre el aparato de medida y la muestra. La interferometría de motas está englobada dentro de estas técnicas de no contacto. Dentro de la interferometría de motas cabe destacar las siguientes técnicas: Interferometría electrónica (ESPI), la digital (SSI), la de superficies rugosas (ROSI), la Doppler (DSI), la de cambio de fase (PSSI), la interferometría

de motas estelar, interferometría heterodina de motas y la fotografía de motas. [11]

#### **2.4.4 Aplicaciones de interferometría de motas.**

- Medir desplazamientos, rotación, tensión de superficies sólidas, deformaciones de objetos.
- Medición de ángulos con alta precisión.
- En el estudio de deformación en tímpanos, así como en un modelo de edificio bajo la acción de cargas concentradas, el comportamiento de estas estructuras es modelado por el método de elementos finitos.
- Usada para la medición del módulo de Young en el hule látex, evaluar y cuantificar las fallas en las superficies de piezas industriales.
- Utilizada como una técnica astronómica la cual consiste en la captura de gran cantidad de imágenes fotográficas o CCD de corta exposición, mezcladas y procesadas por PC, dando como resultado la imagen del objeto estudiado con gran resolución, Con esta técnica aumenta la resolución de los telescopios terrestres, pudiendo apreciar cuerpos celestes de reducido tamaño como por ejemplo un asteroide.

#### **2.4.5 Interferometría de motas en Astronomía**

Interferometría de motas es una técnica de reconstrucción de imágenes de alta resolución desarrollado en la década de 1970 y actualmente en uso en la astronomía terrestre. En 1970 Labeyrie observó que el patrón de moteado formado en el foco de los grandes telescopios para fotografías de corta exposición consistía en manchas de difracción que tienen tamaños limitados de un objeto sin resolver. Un patrón moteado describe la distribución de la intensidad aleatoria que se forma cuando la luz coherente o parcialmente coherente se refleja de una superficie rugosa o pasa a través de un medio con las fluctuaciones del índice de refracción, como la atmósfera.

La interferometría de motas es un método utilizado, con una sola apertura, en grandes telescopios y permite la determinación de una imagen presentada con una resolución cercana al límite de difracción del telescopio. Para grandes telescopios, este límite de resolución supera con creces a la impuesta por las fluctuaciones atmosféricas. Además, puede proporcionar mediciones mucho más precisas de algunos parámetros astrofísicos fundamentales. Las estrellas binarias cercanas se han resuelto con el método de la interferometría de motas. La interferometría de motas también se ha utilizado para medir diámetros de varias estrellas súper gigantes, colocando otra importante restricción observacional en los modelos de evolución estelar. [12]

## 2.5 Diseño, diseño mecánico e ingeniería inversa.

### 2.5.1 Diseño.

El arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades, manifiestas o latentes, del individuo o de la comunidad. [13]

International Council of Societies of Industrial Design (I.C.S.I.D.)

### 2.5.2 Diseño mecánico

Es la disciplina que crea objetos cuya forma debe ser siempre consecuencia de la función aunque, cumplida la función, la estética tiene cada vez más importancia en el proceso de comercialización del proyecto.

### 2.5.3 Metodología del diseño mecánico

La metodología del diseño se puede representar de la siguiente manera expuesto por Morris Asimov. [14]

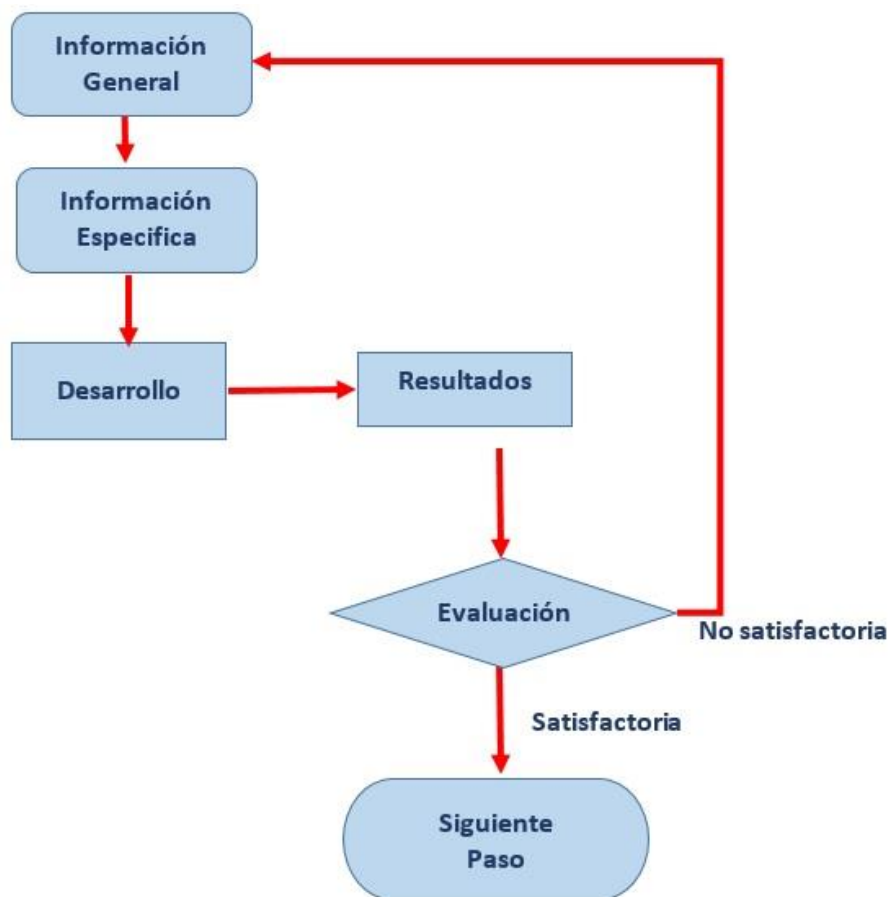


Figura 16 Diagrama de la metodología del diseño por Morris Asimov.

De igual forma se puede hacer una analogía de la metodología del diseño con el proceso de control, en donde:

### Proceso directo

En su expresión más simple se puede considerar el diseño como un proceso simple que transforma el propósito o meta que se intenta alcanzar en los atributos del sistema o producto. [15]



Figura 17 Metodología del diseño proceso directo

### Proceso retroalimentado

Cuando se requiere satisfacer las expectativas de un mecenas o se trata de desarrollar un producto que tenga una amplia aceptación en su mercado, el mecanismo más aceptado actualmente es el de incluir un circuito de retroalimentación que a cada paso del desarrollo regresa al origen y cuestiona si lo desarrollado sigue en línea con lo que se espera. Este enfoque tiene una lógica impecable y debería ser capaz de producir resultados exitosos de manera continua como muestra la figura 18. Sin embargo, cuando existe una gran distancia entre la meta o propósito y el resultado esperado, es decir cuando no se trata solo de un ajuste o mejora incremental a un producto existente, sino de una innovación en toda forma, el modelo con retroalimentación simple, se comporta de manera inestable, y en lugar de ayudar a converger a la meta, oscila incontrolablemente sin lograr el enfoque y convergencia esperados. [15]

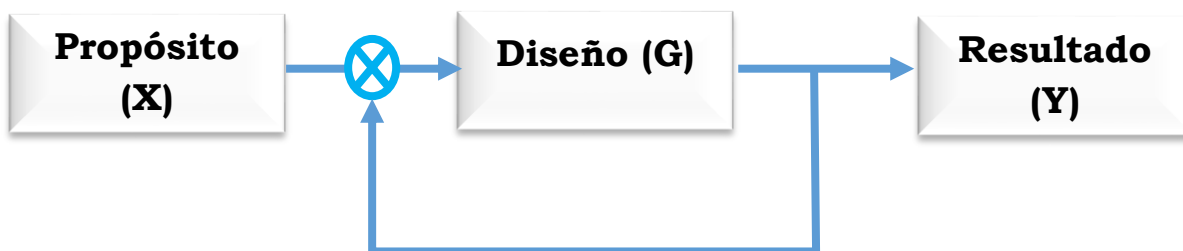


Figura 18 Metodología del diseño proceso retroalimentado

## 2.5.4 Proceso de diseño mecánico

El proceso de diseño se realiza en una serie de fases que se pueden concretar en:

- Reconocimiento de la necesidad.
- Definición del problema.
- Diseño conceptual.

- Diseño preliminar.
- Diseño crítico o de detalle.
- Pruebas y refinamiento
- Manufactura.

De esta forma se puede afirmar que el proceso de diseño parte del reconocimiento de una necesidad insatisfecha, mal satisfecha, o susceptible de mejorar en algún sentido. En el momento de reconocer el problema deben definirse los requerimientos del usuario y los objetivos a cumplir de acuerdo con:

- Condiciones ambientales: temperatura, presión, humedad, presencia de polvo o agresivos químicos, resistencia a insectos, ruidos, vibración, y tipo de trato previsto por el usuario.
- Características operativas y funcionales, en las cuales se define el fin para el cual va a servir el proyecto, con detalle de los modos de operación del proyecto básico, y las provisiones para futuras opciones.
- Interface de comunicación con el operador.
- Características estandarizadas, en las cuales se contempla la compatibilidad con otros equipos del mercado, y las normas nacionales e internacionales.
- Tiempo operativo o ciclo de trabajo: tiempo en el que se supone que el equipo va a estar en servicio, estimado en horas diarias.
- Mantenimiento.
- Tamaño y forma, básicamente buscando que no haya restricciones condicionantes.
- Peso y modo de fijación.
- Apariencia y terminación (estética del proyecto).
- Aspectos ergonómicos, vinculados con su interacción con las personas, disposición y tipos de controles y visualizaciones; momentos y esfuerzos mecánicos mínimos y máximos de accionamiento, etc.
- Instalación, accesorios necesarios y exigencias para que la instalación sea compatible con los demás equipos con los cuales debe interactuar.
- Documentación, manuales a generar de usuario, de instalación, de mantenimiento.

Toda vez que se ha llegado a una solución final del diseño de un sistema se debe incluir una descripción de cada uno de los componentes que integran el sistema, donde se explica cómo y dónde va colocado el componente en cuestión, cuáles son las características de éste, cuál es su función dentro del sistema, y qué especificaciones cumple. Se deben establecer modelos para el cálculo de los elementos, a fin de determinar la carga a la que se ven sometidos. Así la selección de los componentes estándar que giran alrededor de los componentes principales que integran el núcleo del proyecto deberá hacerse teniendo en cuenta:

- ✓ Resistencia
- ✓ Costo (considerando el volumen)
- ✓ Calidad y fiabilidad
- ✓ Características funcionales específicas (tolerancia, comportamiento térmico, etc.)
- ✓ Disponibilidad en el mercado (tiempo de entrega)
- ✓ Exigencias de manufactura (tipo de montaje y soldadura)
- ✓ Racionalización (gama preferida de valores)

### **Materiales y peso estimado**

Se debe especificar cuáles son los materiales utilizados para la fabricación del sistema, y se debe justificar su elección basándose en las propiedades, disponibilidad y costo del material elegido. Además se debe incluir una lista de componentes en la que se debe incluir el peso estimado de cada uno de los elementos, material con el que están fabricados, así como el peso total del sistema.

### **Planos.**

Para una adecuada manufactura de los componentes del sistema, se generan planos de conjunto con dimensiones generales pero que aporten los detalles suficientes para justificar su producción. En la mayoría de los casos se anexa un plano explosivo en el que se detalla cómo se acoplan los componentes dentro del sistema.

### **Ensamble**

Se plantea la metodología a seguir para el correcto ensamble y desensamble del sistema, estableciendo detalles como las herramientas a emplear, el torque de los tornillos y empalmes, el adhesivo utilizado, elementos de sujeción, entre otros, esto con el fin de que se pueda obtener una repetibilidad del ensamble confiable y dentro de las especificaciones.

## **Resultados de los ensayos de validación**

Se deben de documentar los resultados de los ensayos de validación efectuados sobre el instrumento, ya que estos resultados son la base que sustenta y justifica la fabricación del instrumento.

## **Especificaciones del diseño**

Una vez que se tiene el concepto final, es necesario generar la documentación y las especificaciones que describan completamente el diseño. Las especificaciones deben basarse en la definición de proyecto, y deben ser lo más detalladas posibles. Son imprescindibles para el manejo y control del instrumento, y por lo tanto deben estar debidamente documentadas para el correcto uso y manejo de éste.

## *2.6 Metodología del enfoque apodíctico de diseño*

Una vez que se han definido el diseño, el diseño mecánico y el proceso del diseño se debe definir una metodología a seguir para la aplicación de estos conceptos en conjunto para el desarrollo de un producto, es así como se ha decidido seguir la metodología del enfoque apodíctico [15], ya que los principios que se presentan a continuación son de gran utilidad para el diseño del instrumento Berkut, tal como se verá en el siguiente capítulo.

### **Metodología.**

1. Entender claramente cuál es el problema a resolver
2. Identificar las frustraciones, miedos y expectativas del usuario y consumidor
3. Analizar la posición de desarrollo del producto: ¿Es una solución para un sistema más complejo?, ¿es un nuevo producto en vías de encontrar su sitio en el mercado?, ¿es un producto ya establecido, pero que aún no alcanza su madurez?, ¿Es un producto maduro que en algunos aspectos ya ha rebasado las expectativas del consumidor?
4. Arrancar con la solución actual
5. Buscar e incorporar soluciones existentes para cumplir con las Frustraciones, Miedos y Expectativas del consumidor



6. Determinar el grado de homeostasis (desacoplamientos críticos) de la plataforma y sus derivados (Desacoplamientos adicionales) para los mercados objetivo.
7. Desarrollar las características del sistema.
8. Detallar el sistema. En esta fase se completan los detalles de manufactura, los de los herramentales y las dimensiones finales de cada parte o componente. El punto más importante es respetar la arquitectura ya definida.
9. Decorar el sistema y posibilitar su diferenciación al final de la línea de ensamble o manufactura.

En paralelo y a cada paso del proceso se deben aplicar los Principios de Diseño:

- Simplicidad – Eliminar todo lo que no sea indispensable a cada solución de diseño incorporada en el producto
- Claridad – Eliminar los conflictos internos e incluir interfaces dedicadas para cada zona de interacción permanente del sistema
- Unidad – Mantener las proporciones y participación relativa de todos los elementos de la solución de diseño.

## *2.7 Ingeniería inversa e ingeniería concurrente*

La ingeniería inversa es el proceso de extracción de conocimiento o información sobre el diseño de cualquier cosa hecha por el hombre. Los objetivos finales para la obtención de dicha información son variados. Un objetivo típico de ingeniería inversa de un producto es la creación de una copia o incluso una imitación posiblemente mejorado aunque no necesariamente.

Ingeniería concurrente es una metodología de trabajo basada en la paralelización de tareas. Se refiere a un método utilizado en el desarrollo de productos en los que las funciones de la ingeniería de diseño, ingeniería de fabricación y otras funciones están integradas para reducir el tiempo transcurrido requerido para llevar un nuevo producto al mercado.

Con base en las definiciones anteriores se puede concluir que la ingeniería inversa es aplicable a algún objeto que ya existe y que se desea replicar, ahora bien si no se cuenta con las especificaciones originales del diseño, éste tiene que ser estudiado en cada uno de sus componentes para lograr una réplica lo más fiel posible del original y si es el caso incorporar mejoras. La ingeniería

concurrente brinda la posibilidad de reducir etapas en el proceso del diseño y por consecuencia tiempo. Al ser sus etapas desarrolladas de forma paralelas no requiere del término de una para continuar con la siguiente de esta forma se pueden apreciar posibles fallas en componentes y corregirlos antes de llevar a cabo el ensamble final.

# CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA APLICADA Y EL DISEÑO DE BERKUT.

Como en todo proceso de diseño y de creación de infraestructura, se debe contar con una base a la cual seguir o tomar como muestra. Ésta puede ser un objeto comercial o bien un sistema que ya había sido desarrollado anteriormente y que se desea incorporar mejoras. Éste último es el caso del instrumento Berkut ya que en el IA - UNAM se había realizado el prototipo de dos instrumentos que trabajaban en conjunto con un telescopio para llevar a cabo la obtención de imágenes a utilizar en la técnica de interferómetro de motas, estos instrumentos se denominaron Dragón y Tohtli, siendo el segundo la actualización del primero. Toda vez que se han definido los conceptos de ingeniería inversa y concurrente aunado con la adopción del método apodíctico de diseño a seguir, se aplicarán estos conceptos para crear una nueva iteración dentro del desarrollo de instrumentos dedicados a la obtención de imágenes de alta resolución que aplican la técnica de interferometría de motas. Es de este modo como se desarrolla el instrumento Berkut en un constante proceso de mejora.

## *3.1 Entendiendo el problema.*

Aplicando la metodología del enfoque apodíctico al diseño y los principios del proceso del diseño mecánico, el primer punto a desarrollar es la comprensión del problema, para ello recapitularemos lo expuesto en el capítulo 1, aunque de una forma ordenada siguiendo los lineamientos del diseño.

### **3.1.1 Reconocimiento de la necesidad.**

La atmósfera es un medio que limita y altera las observaciones astronómicas realizadas con los telescopios terrestres, particularmente en nuestro país y con la infraestructura que se posee en las dos sedes del OAN, y con la limitante de no poder construir un nuevo telescopio de mayores dimensiones, surge la necesidad de diseñar y construir un instrumento capaz de lograr un acoplamiento y un enfoque óptico entre el telescopio de clase 1 metro de la sede de Tonantzintla, Puebla para obtener imágenes de alta calidad que eliminen los efectos provocados por la atmósfera.

### **3.1.2 Definición del problema.**

Una vez que se ha planteado la necesidad de desarrollar un instrumento que trabaje en conjunto con el telescopio, se debe tomar en cuenta los requerimientos del usuario en este caso los astrónomos cuya solicitud es que el instrumento utilice la interferometría de motas como medio de obtención de imágenes. Para la aplicación de este método se requiere el uso de algunos elementos ópticos esenciales como son:

- Lentes objetivos microscopios.
- Rueda de filtros.
- Cámara con CCD (tres tipos diferentes a utilizar)

Adicionalmente se requiere que los cambios de objetivos y filtros sean de forma remota, y que el medio de control sea a través de una interfaz que pueda usar el usuario en una computadora convencional, por lo que dicha interfaz debe brindar un ambiente amigable y de fácil uso. Según lo planteado, el problema identificado es el desarrollo de un instrumento que alinee la óptica del telescopio y la óptica de la cámara para llevar a cabo la interferometría de motas, que sirva de soporte a estos últimos y que cuente con un fácil ensamble con el telescopio. Para conseguir este objetivo se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

## Condiciones ambientales en el OAN Tonantzintla

Temperatura alta	30.6 °C
Temperatura baja	-17.8°C
Humedad alta	100 %
Humedad baja	0%
Rocío alto	18.0°C
Rocío bajo	-7.3°C
Velocidad de viento	41.8 Km/h
Presión alta	1021.0 mb
Presión baja	0.0 mb
Precipitación	37.59 mm <sup>3</sup>

*Tabla 1 Condiciones atmosféricas en el OAN Tonantzintla.*

## Características operativas y funcionales

Mecánicas	Estructura robusta capaz de brindar un soporte óptimo a los elementos ópticos internos y a su vez ligero de peso tal que permita su transportación de una forma sencilla sin tener que utilizar recursos extras de transporte
Electrónicas	Brindar la energía suficiente para hacer funcionar la etapa de control.
Control	Recibir las indicaciones del software de comunicación y colocar los elementos requeridos en su posición adecuada
Interfaz	Recibir las órdenes del operador, a través de una Interfaz amigable y transmitir las a la etapa de control

*Tabla 2 Características operativas y funcionales a considerar en el diseño de Berkut.*

## Interfaz de comunicación con el operador

La interfaz de comunicación debe ser amigable e intuitiva, permitiendo que cualquier persona sin conocimiento previo del instrumento sea capaz de utilizarlo.

**Características estandarizadas.**

Deberá procurarse el empleo de elementos mecánicos estandarizados según las normas internacionales ISO y DIN en el diseño o rediseño del instrumento para su fácil adquisición y comercialización.

**Tiempo de operación o ciclo de trabajo.**

Las observaciones astronómicas se realizan típicamente por las noches a lo largo de toda ella comenzando los preparativos al oscurecerse el cielo por lo que puede relacionarse con un horario de entre las 20:00 h. o 21:00 h. Concluyendo éstas alrededor de las 03:00 h. o 04:00 h. por lo que se está contemplando un tiempo de operación de 8 horas de forma continua.

**Mantenimiento.**

Al ser un equipo que tendrá la posibilidad de ser ensamblado y desensamblado su mantenimiento se llevará a cabo antes de ser utilizado y a cada una de las piezas, teniendo especial cuidado en el sistema de posicionamiento de los objetivos.

**Tamaño y forma.**

El tamaño debe ser reducido para poder ser transportado fácilmente por una persona, la forma se definirá de acuerdo al acomodo de los elementos ópticos en el interior y de manera tal que si es necesario realizar un ajuste en sitio éste sea de la forma más cómoda posible.

**Peso y modo de fijación.**

El peso límite mayor que se contempla para este instrumento es de 25 Kg. Esto con la finalidad de mantener su portabilidad. El modo de fijación con la platina del telescopio será a base de tornillos.

**Apariencia y terminación.**

Una apariencia final del instrumento que no interfiera en el correcto funcionamiento del mismo y a su vez ser agradable a la vista si es que se quiere lograr su comercialización.

**Aspectos ergonómicos.**

El instrumento tendrá interfaces de conexión que permitan una óptima interacción con el usuario.

## Instalación y accesorios necesarios

Todos los accesorios necesarios para el armado e instalación del instrumento serán seleccionados de tamaños comerciales estándar para que su obtención sea lo más sencilla posible. El diseño del instrumento será tal que su armado e instalación puedan ser realizados por cualquier persona con herramientas convencionales.

## Documentación

Se proporcionará un manual de usuario indicando el modo de armado y de operación del instrumento.

Un esquema preliminar para la implementación del instrumento Berkut es el que se presenta a continuación

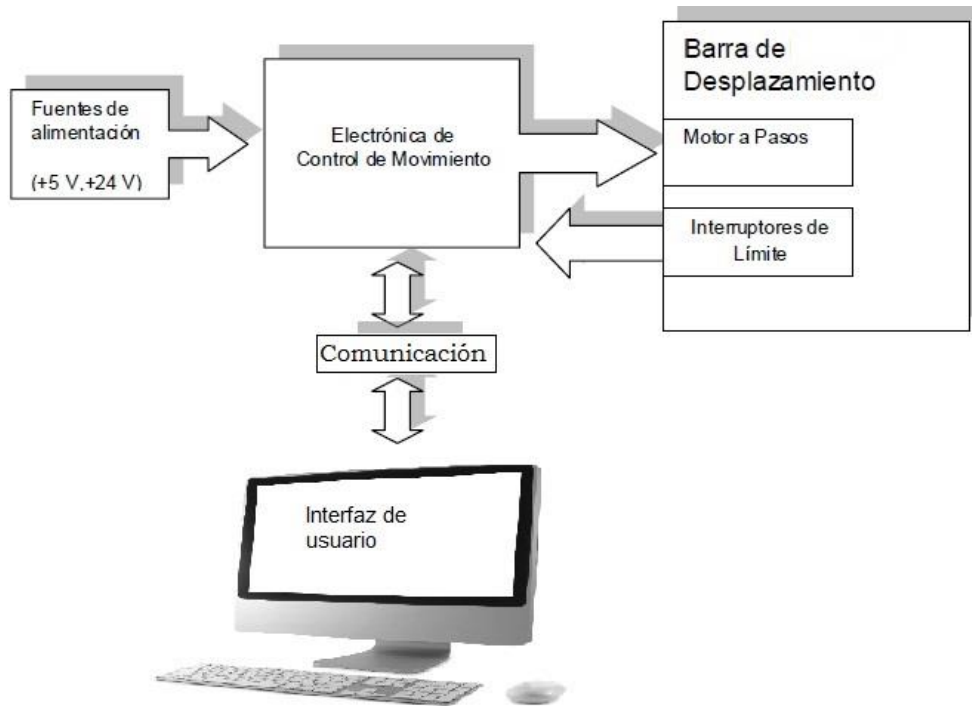


Figura 19 Esquema para la implementación del instrumento Berkut

## 3.2 Determinando las frustraciones, miedos y expectativas para el proyecto.

Dentro de este apartado la principal idea a seguir es que el diseño del instrumento permita desarrollar un producto robusto que se acople al telescopio

de clase 1 m sin afectar la configuración actual ni añadirle elementos adicionales al mismo.



*Figura 20 El Telescopio de 1m Tonantzintla configuración actual*

### *3.3 Análisis de la posición del desarrollo del producto.*

En este punto se destaca que el instrumento que se desea desarrollar es una solución de un producto ya establecido, es decir ya existe o existieron equipos para llevar a cabo este fin. En el mismo Instituto de Astronomía se cuenta con soluciones previas para la solución de problema que fueron denominados Dragón y Tohtli. A continuación se presentan a manera de antecedentes.

#### **3.3.1 Dragón.**

Fue primer intento por parte del Instituto de Astronomía de desarrollar un instrumento que trabajara en conjunto con un telescopio para mejorar su potencial. Aunque más que un instrumento, Dragón consistía en una serie de equipos que dependiendo de lo que se quería realizar se formaban en una configuración determinada. Según su configuración, podía ser utilizado para llevar a cabo diversas investigaciones relacionadas con óptica adaptativa, óptica



activa, astronomía observacional e instrumentación astronómica. El esquema óptico de Dragón se muestra en la Figura 21. [16]

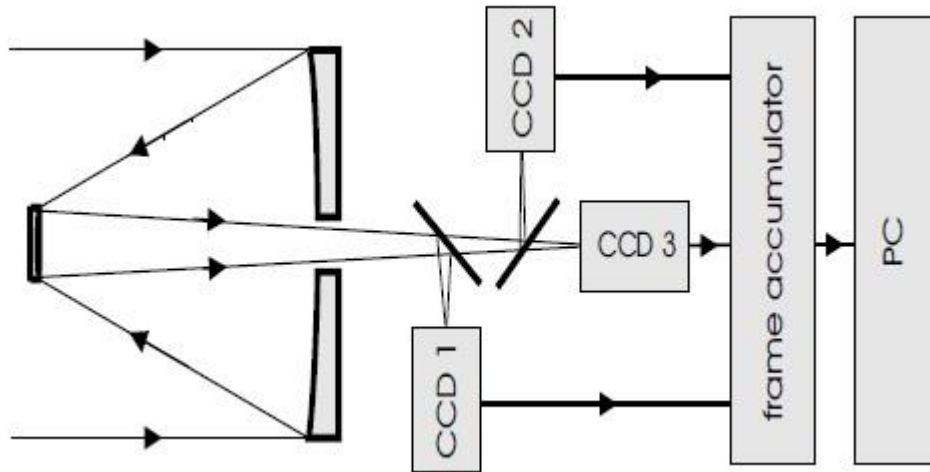


Figura 21 Esquema general del instrumento Dragón.

El principio de funcionamiento es el siguiente: la luz proveniente de los cuerpos celestes en el espacio es colectada por el espejo primario del telescopio y es dividida en tres haces de luz por medio de dos divisores de haz. Cada uno de estos haces de luz es enviado a una cámara con CCD que obtiene una imagen digitalizada y la envía por su respectivo canal a un acumulador de imágenes. Después de terminar un experimento, la información recogida por el acumulador se reescribe desde su memoria interna en el disco duro de una computadora, para ser procesadas por medio de un software especializado.

Los elementos que conformaban Dragón son:

- 3 Cámaras CCD
- 2 Divisores de haz
- 1 Acumulador de imágenes con 3 canales independientes
- 1 Computadora

Si bien Dragón fue una propuesta importante, ya que tenía una gran versatilidad en su uso, esto también era una de sus desventajas en cuanto a su uso específico para la interferometría de motas ya que para ser usado para este propósito era necesario la inclusión de otros elementos que no se observan en el esquema óptico general, como son filtros y objetivos; del mismo modo era necesario retirar los divisores de haz y 2 de las cámaras CCD. Al no ser un instrumento integrado propiamente, su configuración para ser utilizado en la interferometría de motas requería de un gran tiempo de montaje.

### 3.3.2 Tohtli

Tohtli fue el sucesor de Dragón, pero representa la primera propuesta que está dedicada específicamente a obtener imágenes para la aplicación de la técnica de interferometría de motas. Tohtli a diferencia de Dragón cuenta con un cuerpo propio en el que se alojan los diferentes sistemas que lo integran, es decir una sola pieza es acoplada al telescopio. El esquema óptico para la implementación de Tohtli y los elementos que lo conforman se muestra en la Figura 22. [17]

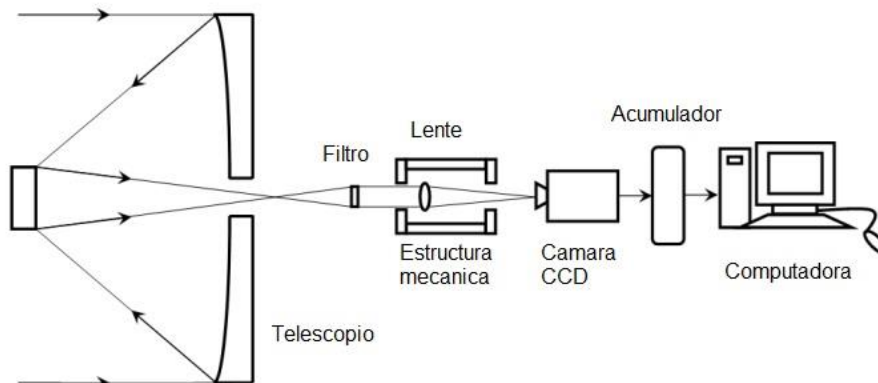


Figura 22 Esquema general del instrumento Tohtli

Con el desarrollo de Tohtli se consiguió un importante avance en cuanto al desarrollo de un equipo de instrumentación dedicado específicamente para la aplicación de la técnica de interferometría de motas ya que el cuerpo mecánico brindaba soporte a los diferentes elementos que conforman el sistema óptico y sus superficies acoplamiento al telescopio y a la cámara con CCD para la adquisición de imagen, sin embargo es en el acoplamiento con esta última donde se presenta el mayor detalle del Tohtli, ya que al depender la interferometría de motas de la resolución de la imagen obtenida por la cámara con CCD se puede usar una u otra según sea el caso, y el acoplamiento de Tohtli con la cámara fue desarrollado para un tipo específico por lo que el utilizar otro tipo de cámara no era posible. De manera análoga si se requería el cambio de un filtro u objetivo era necesario el desensamble del instrumento y su desacoplamiento del telescopio. Todo esto supone una pérdida de tiempo de observación que para los astrónomos es muy valioso; es por esto que surge la necesidad de realizar mejoras sustanciales que resuelvan dichos inconvenientes.

### 3.4 Comenzar con la solución actual. Justificación de la ingeniería inversa y concurrente.

Como lo dicta la metodología de diseño “No diseñes algo nuevo si puedes evitarlo” por lo tanto para el diseño de Berkut se toma como base la solución actual siendo ésta Tohtli.

Tohtli fue diseñado para ser utilizado en telescopios de clase 2.1 metro, las especificaciones usadas no son exactamente aplicables a telescopios de clase 1 metro es por esto que aplicando la ingeniería inversa y concurrente se determinará su viabilidad en el uso y se llevarán a cabo las observaciones necesarias para las correcciones pertinentes y así lograr el desarrollo de un instrumento confiable y de alta calidad.

La concepción del diseño, descripción, así como el posterior desarrollo e implementación de Tohtli pueden ser consultados en la referencia [18]. A manera de resumen se presentan algunas características y resultados obtenidos con Tohtli.

### **3.4.1 Especificaciones y resultados obtenidos con Tohtli**

Restricciones físicas.

- El instrumento se adapta con el telescopio clase 2.1 m del OAN.
- Deformación máxima permitida por efecto de la gravedad: 20  $\mu\text{m}$  en cualquier dirección (eje x, y, z).
- Soportar cambio de posición del telescopio.
- Peso máximo del instrumento: 25 kg.
- El telescopio no deberá de sufrir alguna modificación.

Condiciones de funcionamiento:

- Expuesto a cambios de temperatura (de -18 a 18° C).
- Temperatura promedio del sitio 2.3° C.
- Altitud 2,830 m.s.n.m.
- Velocidad promedio del viento 18.8 Km/h, con rachas de viento sostenido de hasta 45 km/h.
- Soportar estar expuesto a humedad y polvo.

Requerimientos de funcionamiento.

- El sistema óptico del instrumento debe estar alineado con el sistema óptico del telescopio y el sistema óptico de la cámara con CCD.
- Acceso al interior del instrumento.
- Un sistema mecánico fijo para posicionar un objetivo.
- Facilidad de poder intercambiar los diferentes tipos de cámaras a utilizar.

Con base en estas especificaciones se construye Tohtli cuyo resultado se puede observar en la figura 23 y sus características finales se presentan en la tabla.3.

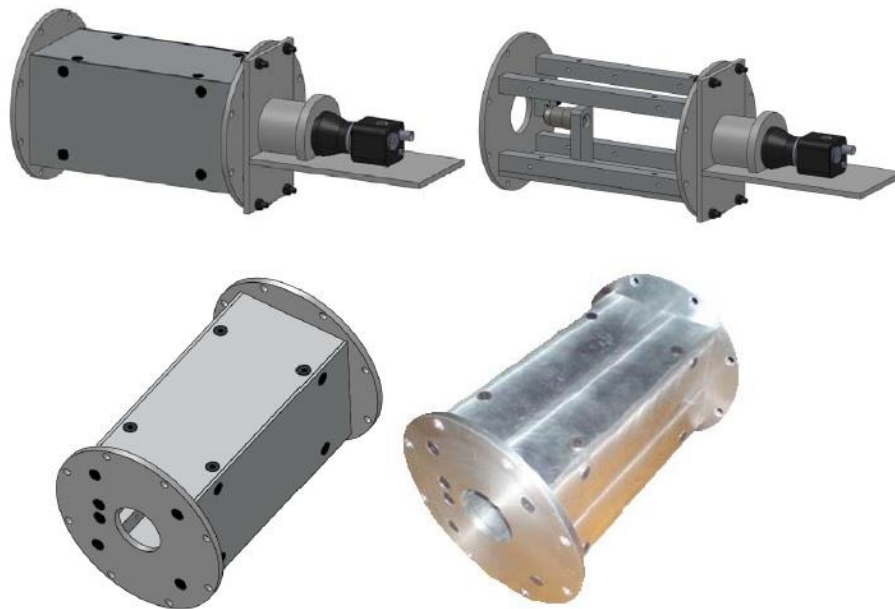


Figura 23 El instrumento Tohtli.

Nombre Pieza	Cant.	Material	Peso Unitario [Kg]	Peso Total [Kg]
Barra 1	1	Al 6061 – T6	0.23	0.23
Barra 2	1	Al 6061 – T6	0.23	0.23
Barra 3	1	Al 6061 – T6	0.219	0.219
Barra 4	1	Al 6061 – T6	0.219	0.219
Base	1	Al 6061 – T6	0.448	0.448
Cerrojo	1	Al 6061 – T6	0.022	0.022
Guía 3	1	Al 6061 – T6	0.022	0.022
Guía 4	1	Al 6061 – T6	0.025	0.025
Interfaz	1	Al 6061 – T6	0.38	0.38
Porta objetivo	1	Al 6061 – T6	0.057	0.057
Tapa 12	1	Al 6061 – T6	0.244	0.244
Tapa 23	1	Al 6061 – T6	0.244	0.244
Tapa 34	1	Al 6061 – T6	0.121	0.121
Tapa móvil	1	Al 6061 – T6	0.082	0.082
Tapa trasera	1	Al 6061 – T6	0.382	0.382
				2.905
Componentes comerciales				
Objetivo	1	-----	0.148	0.148
				0.148
Tornillería				
T. C. Plana M6X20	30	Acero	0.002	0.054
T. C. Cilíndrica M6X20	1	Acero	0.006	0.006
				0.06
			Peso Total	3.113

Tabla 3 Componentes que conforman Tohtli

Durante la utilización de Tohtli los investigadores detectaron una serie de detalles que pueden ser mejorados, estos sumados a los objetivos secundarios que se cubrirán en este nuevo diseño se presentan en la tabla 4.

<b>Observación (problema)</b>	<b>Objetivo a lograr (posible solución)</b>
Un lente objetivo no es suficiente se requiere el uso de dos lentes durante las observaciones	Desarrollo de pieza mecánica para el montaje de dos objetivos.
Se requiere la utilización de filtros ópticos	Incorporación de un elemento que contenga filtros (rueda de filtros).
El cambio de objetivos requiere desensamble del instrumento	Cambio y posicionamiento automático de objetivos y filtros mediante sistemas electrónicos de manera remota.
El ensamble del instrumento requiere de elementos pequeños de soporte lo que lo vuelve complicado y tardado en sitio.	Eliminación de piezas pequeñas de soporte para el ensamblado del instrumento.
El material de fabricación no cuenta con ningún recubrimiento especial por lo que está expuesto a oxidación	Proveer una capa de anodizado para evitar oxidación.
Las distancias ópticas no son las adecuadas por lo que es necesario el uso de extensiones	Diseño de instrumento de acuerdo con la óptica geometría.
Las cubiertas generan reflexión de luz al interior del instrumento	Cubiertas fabricadas de un material que evite el reflejo interior
La captura de imágenes es de forma manual	Captura automática de datos
Vigilancia del instrumento altamente dependiente del operador	Lograr un instrumento semiautomático que reduzca al mínimo la intervención del operador.
No existe interfaz de comunicación con el operador	Crear una interfaz de comunicación entre el operador y el instrumento

*Tabla 4 Detección de mejora continua para ser realizada en Berkut.*

### *3.5 Esquemas de posibilidades. Buscar e incorporar soluciones existentes*

Se ha establecido que Tohtli será tomado como solución base para diseñar una nueva solución, ahora el siguiente paso es tomar la solución actual e incorporarle elementos que le permitan cumplir con los objetivos requeridos.

Antes de iniciar con dicha incorporación de elementos, se presenta un resumen de su condición actual y de las métricas deseadas para que al finalizar el nuevo diseño se tenga un punto de comparación.

<b>Características de Tohtli</b>	<b>Actual</b>	<b>Deseado</b>
Número de piezas.	16	-----
Peso total [Kg].	3.5	Menor a 25
Tornillería necesaria para su armado.		
Tornillo cabeza plana M6X20.	30	-----
Tornillo cabeza plana M6X16.	1	-----
Numero de objetivos.	1	2
Cambio automático de objetivo.	no	sí
Numero de filtros.	0	7
Cambio automático de filtros.	no	sí
Interfaz de comunicación entre operador e instrumento.	no	sí
Recubrimiento especial para evitar oxidación.	no	sí

*Tabla 5 Características actuales de Tohtli y deseadas.*

Ahora se procede a realizar las propuestas necesarias que cumplan con los objetivos establecidos, para esto dividiremos el desarrollo en 4 partes denominadas Mecánico, Electrónico, Control e Interfaz.

### *3.6 Determinando el grado de homeostasis (desacoplamientos críticos) de la plataforma y sus derivados*

El hablar de desacoplamientos críticos sería muy general en este instrumento, ya que al aplicar la ingeniería inversa se han revisado las principales características del prototipo anterior. Algunas de ellas se han conservado y otras han cambiado principalmente para la obtención de una mayor facilidad en el ensamble y desensamble del instrumento. En los apartados siguientes se describen cada uno de los sistemas que conforman Berkut y las modificaciones que se llevaron a cabo con respecto a su antecesor Tohtli.

### 3.6.1 Desarrollo Mecánico.

Elementos ópticos a considerar en el diseño de la estructura.

- 2 Objetivos o lentes ópticos (microscópicos). Adquiridos comercialmente.
- 1 Rueda de filtros con 7 filtros integrados. Adquirida comercialmente
- 1 Sistema de traslación lineal, el cual cuenta con un motor a pasos incorporado que proporcionara el movimiento (más detalles de este elemento en la sección de diseño electrónico). Adquirido comercialmente.
- 1 cámara con CCD. Adquirida comercialmente.

Todos estos elementos deben ser soportados por el instrumento y estar ordenados de la forma en que lo muestra el esquema de la figura 24. De manera análoga con la que se diseñó Tohtli, la cámara con CCD se montará fuera del cuerpo del instrumento, así como también lo hará la rueda de filtros.

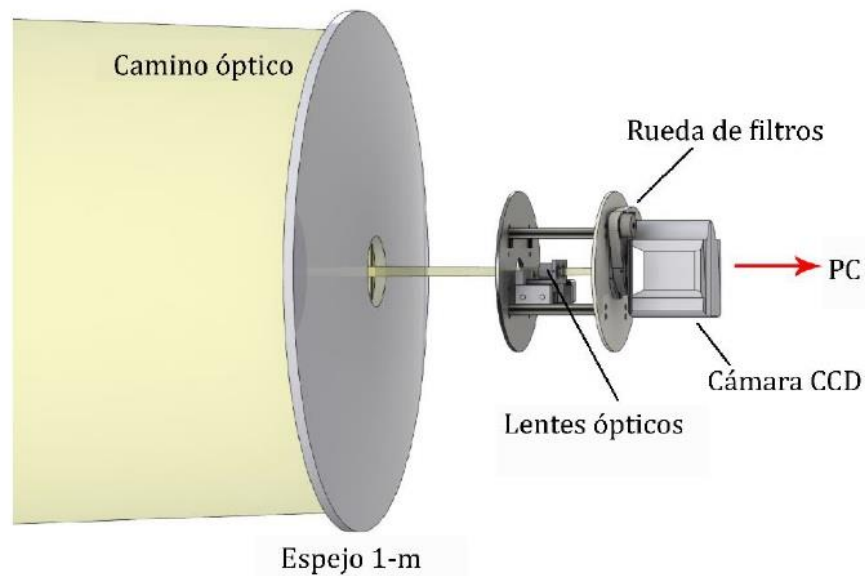
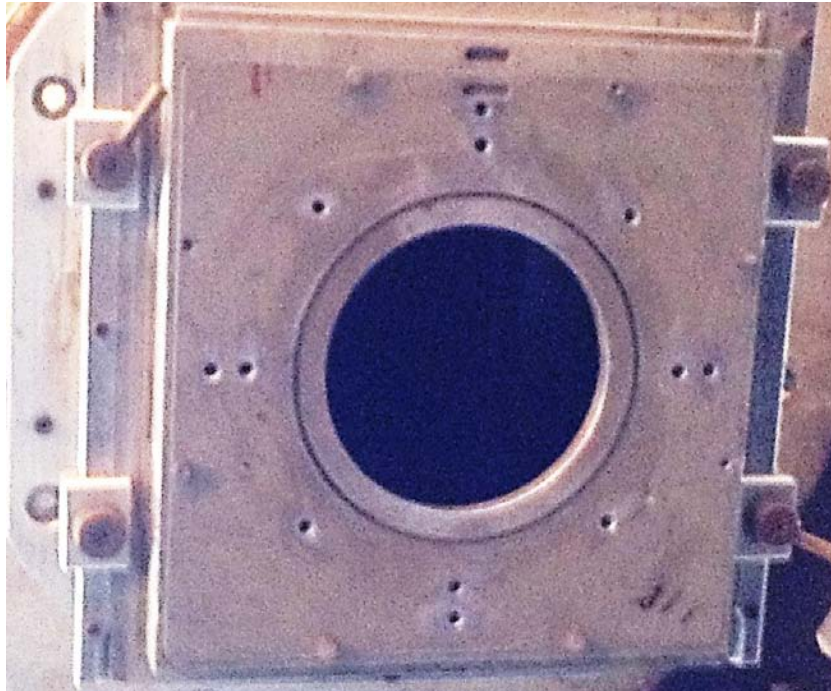


Figura 24 Esquema general de Berkut.

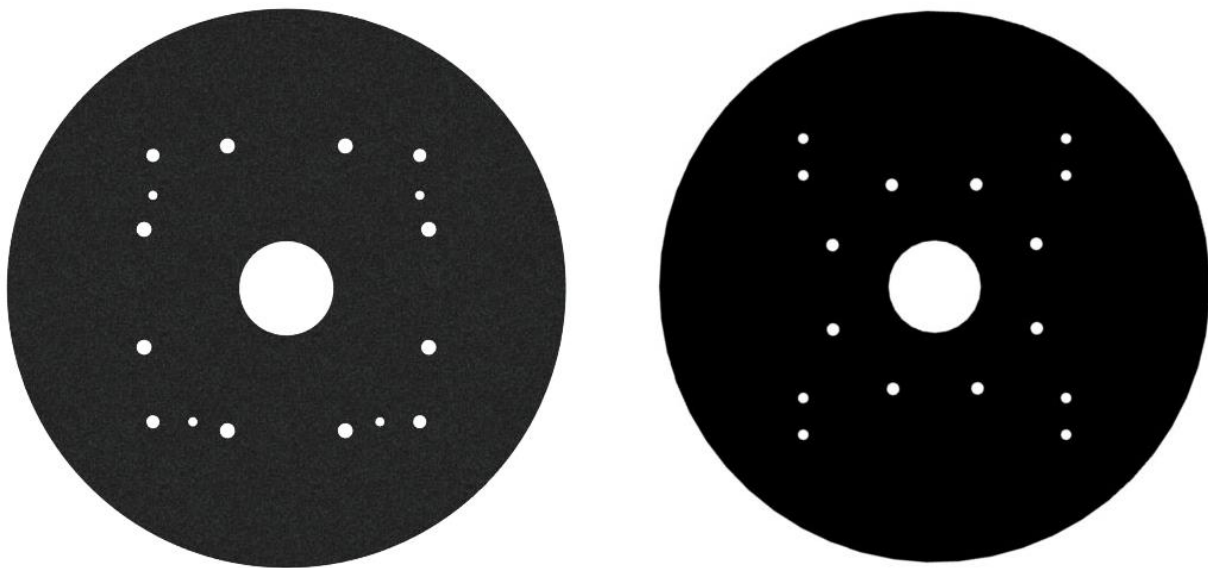
#### La interfaz de conexión con el telescopio.

La forma de acoplamiento del instrumento con el telescopio es a través de la platina de este último. La platina tiene una serie de perforaciones espaciadas de forma equidistante una de otra como se muestra en la figura 25.



*Figura 25 Platina del Telescopio de 1m.*

La interfaz de conexión con el telescopio con la que cuenta Tohtli tiene la forma que se muestra en la figura 26 (izq.), ésta forma resultó conveniente para el diseño de Berkut y sólo se modificó en las posiciones de las perforaciones para hacerlas coincidentes con la platina del telescopio de 1 m de Tonantzintla. El resultado se muestra en la figura 26 (der.).



*Figura 26 Interfaz de conexión con el telescopio. Tohtli (izquierda), Berkut (derecha)*

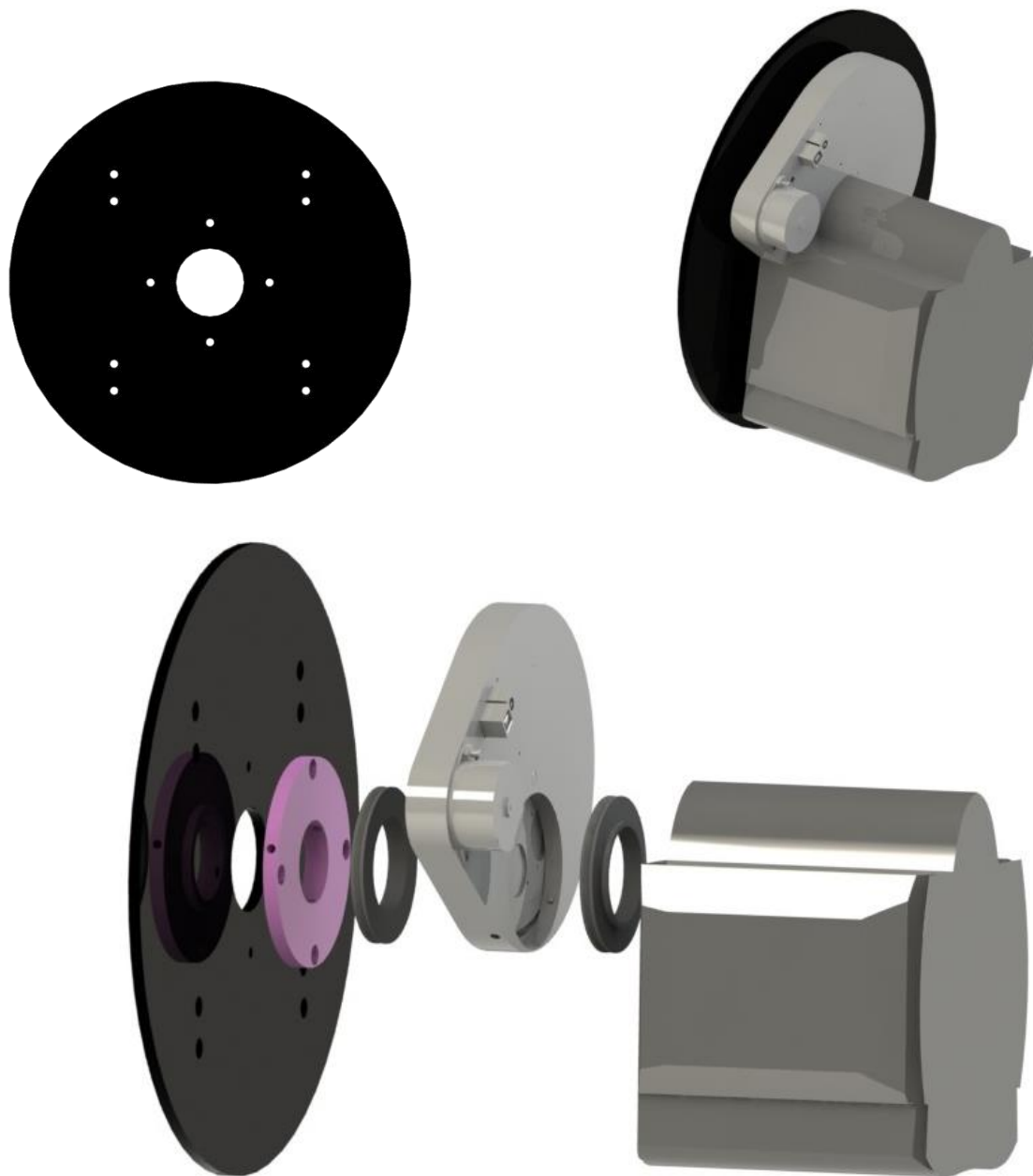


### **La interfaz de conexión con la cámara.**

Como lo muestra el esquema óptico, el filtro debe colocarse antes que la cámara con CCD, por lo que la interfaz con la cámara en primer lugar debe tener una montura para la rueda de filtros y posteriormente un anillo adaptador para el acoplamiento de la cámara. A manera de simetría de la interfaz hacia la platina del telescopio se conserva el diseño original de Tohtli. En la figura 27 se presenta la interfaz de Tohtli con su cámara con CCD montada, no se cuenta con filtro entre ellas. En la figura 28 se presenta la nueva interfaz de Berkut donde se aprecia la montura para la rueda de filtros y el anillo sujetador de la cámara con CCD.



*Figura 27 Interfaz de conexión de Tohtli. Sin cámara con CCD (izquierda), con la cámara con CCD montada*



*Figura 28 Interfaz de conexión de Berkut (superior izquierda), Con rueda de filtros y cámara con CCD montados (superior derecha) y explosión de elementos donde se aprecia la montura para rueda de filtros y el anillo acoplador de la cámara con CCD.*

### **Tamaño y forma de la estructura**

En cuanto al tamaño de la estructura ésta cuenta con 180 mm de separación entre cada interfaz, dicha separación fue propuesta con base en el diseño óptico realizado por el personal del Instituto de Astronomía. De acuerdo con lo anterior la forma se conserva y el tamaño entre interfaces es de 180 mm.

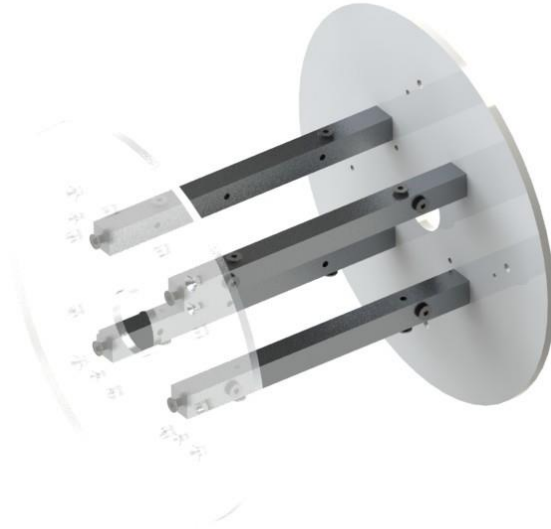


Figura 29 Forma actual de Tohtli con barras sólidas.

Como se aprecia en la Figura 29 las “barras” que unen las interfaces de Tohtli son de una geometría rectangular sólida y requieren de un tratamiento adicional para acondicionarlas y ser utilizadas. Atendiendo al principio de funcionalidad, estas son sustituidas por el perfil de aluminio comercial denominado MCS (Figura 30), éste es un perfil estructural de aluminio AI6063-T5, anodizado con un revestimiento transparente hasta un espesor de 10 micrómetros, lo cual da una base precisa y resistente para la construcción de todo tipo de estructura. La figura 31 muestra la sustitución de las barras por los perfiles en la estructura de Berkut. Todos los perfiles incluyen ranuras en T en toda su extensión, permitiendo así la introducción de tuercas en T y pernos con cabeza en T para acoplar abrazaderas de conexión o accesorios [19]. Estas características fueron de gran importancia como se verá más adelante.

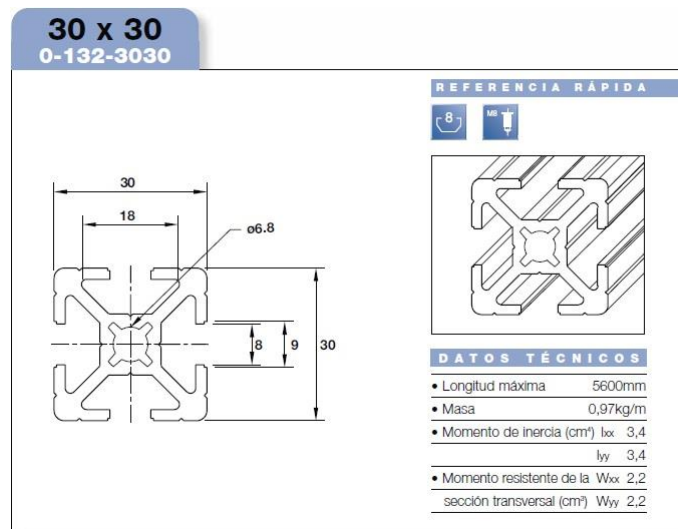


Figura 30 Especificaciones del perfil de aluminio comercial



*Figura 31 Sustitución de barras por perfiles de aluminio en Berkut*

Finalmente se agregan travesaños a la estructura para brindar rigidez a las barras, adicionalmente estos servirán de soporte para el medio de deslizamiento lineal de los objetivos. Por lo que la estructura básica de Berkut es la que se presenta en la Figura 32.



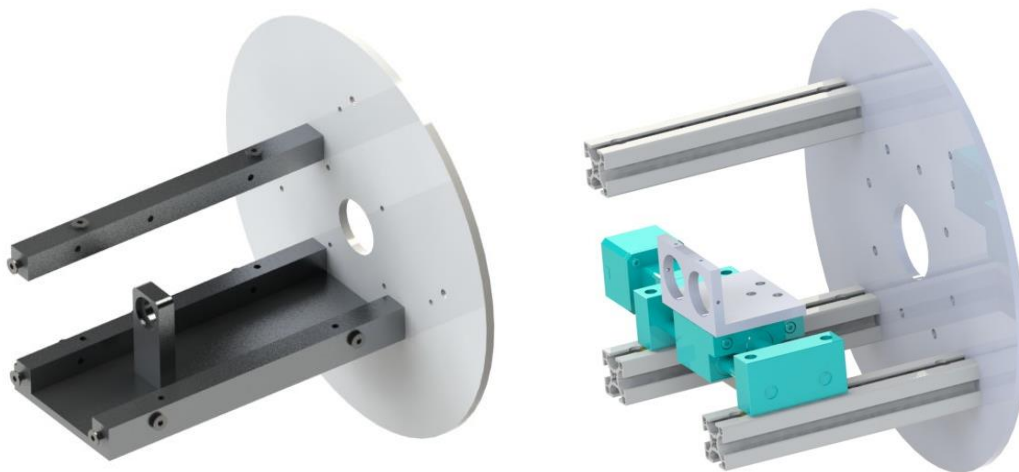
*Figura 32 Estructura básica de Berkut*

La configuración geométrica del producto se considera como una estructura, toda vez que los elementos mecánicos denominados “barras” funcionan como columnas mientras que los elementos “travesaños” funcionan como refuerzos que proporcionan la rigidez y soporte al mecanismo de desplazamiento lineal donde

se montan los objetivos. El elemento superior “interfaz con telescopio” es la base de empotramiento mientras que el elemento inferior “interfaz con cámara” es un soporte mecánico cuyas principales cargas son la rueda de filtros y la cámara con CCD con sus respectivos componentes mecánicos de sujeción.

### **Soporte para lentes ópticos**

Tohtli cuenta con un portaobjetos que sólo permite el montaje de un objetivo a la vez y necesita de una base para ser colocado (Figura 33 izq.); el requerimiento de los usuarios es que sean 2 lentes objetivos por lo que Berkut cuenta ahora con una pieza capaz de albergar dos objetivos, ésta se encuentra montada en un elemento comercial el cual se denomina “plataforma de desplazamiento lineal” la cual, como su nombre lo indica dota de un movimiento lineal al carro montado sobre un tornillo sinfin que a su vez recibe la rotación de un motor a pasos. Esta plataforma está sujeta a uno de los travesaños a través de tornillos de fijación aprovechando las ventajas que proporciona el tipo de perfil elegido (Figura 33 der.).

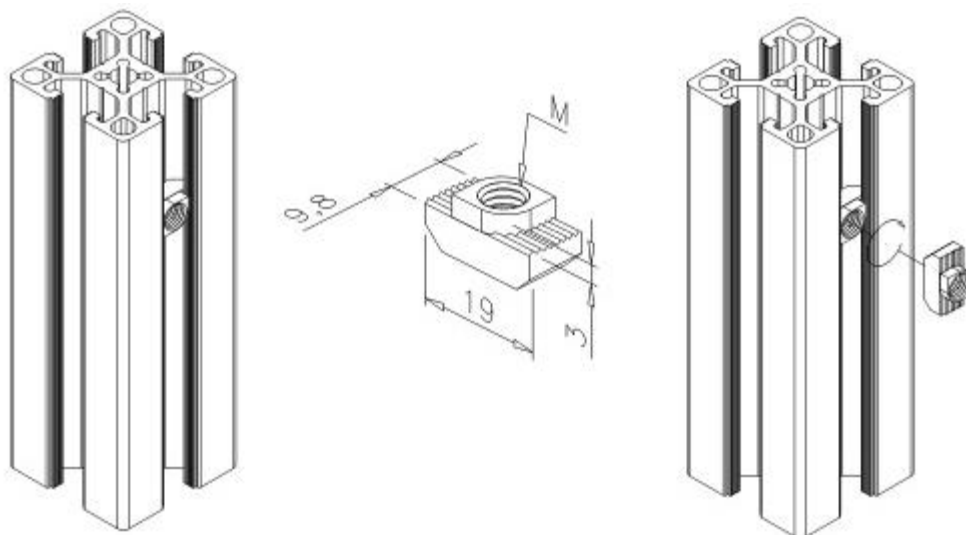


*Figura 33 Ubicación del soporte para lente objetivo. Tohtli (izquierda), Berkut (derecha)*

### **Cubiertas antirreflejantes.**

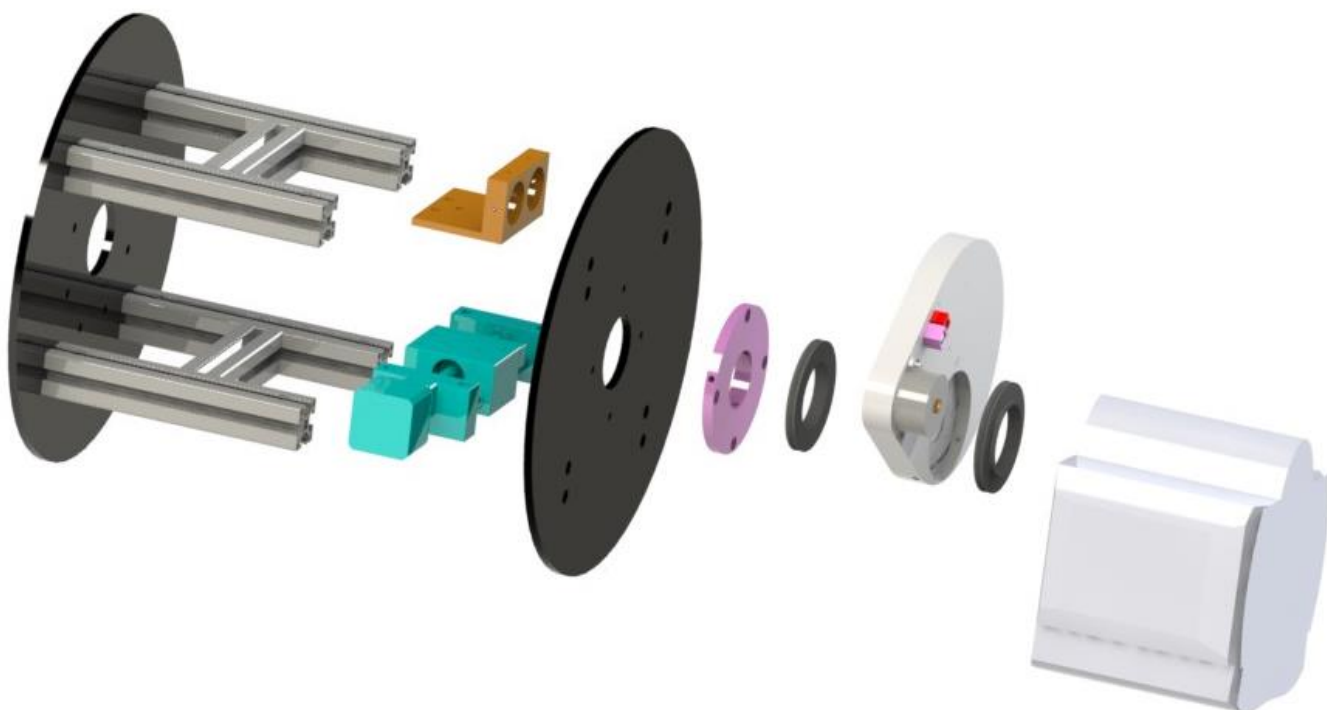
Se sustituyen las cubiertas fabricadas en aluminio por otras fabricadas con acrílico oscuro, en las cuales la cara interna tiene un tratamiento de matizado que evita la reflexión de luz en el interior. La manera de montaje de estas cubiertas es mediante tornillos M5 y tuerca cajeada cabeza de martillo (Figura 34) aprovechando las facilidades que para esto brinda el tipo de perfil seleccionado. Esta tuerca se utiliza para fijar cualquier accesorio. Se introduce

frontalmente, se desliza por el canal de los perfiles y al girar un cuarto de vuelta queda bloqueado.

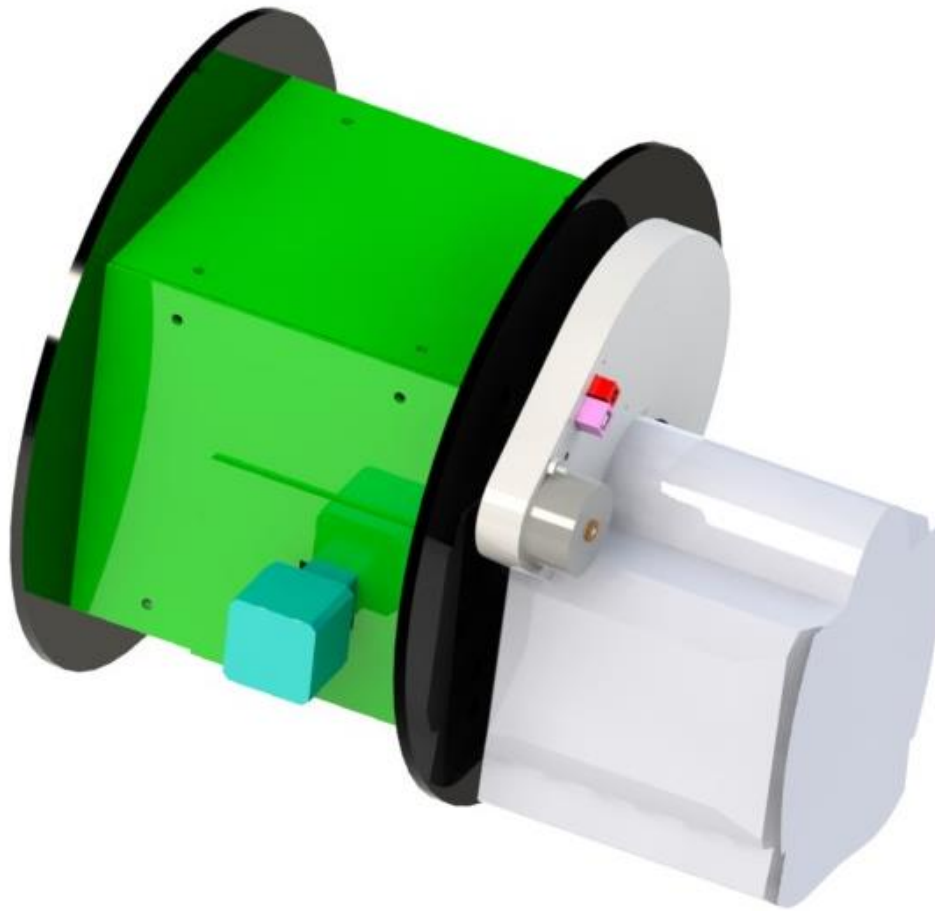


*Figura 34 Tuerca cabeza de tornillo y modo de fijación en el perfil de aluminio.*

En la Figura 35 se aprecia la estructura mecánica final de Berkut con todos sus elementos que lo conforman y en la Figura 36 se aprecia Berkut con sus cubiertas de acrílico.



*Figura 35 Estructura general de Berkut con todos sus elementos*



*Figura 36 El instrumento Berkut con cubiertas de acrílico.*

### **Selección del material.**

La estructura del instrumento brinda soporte a los elementos ópticos y estos deben permanecer lo más estable posible ya que en equipos de medición que se basan en óptica no deben sufrir desenfoco alguno, por lo que se tiene que satisfacer las restricciones de deformación debido a los esfuerzos y a las diferencias térmicas (Tabla 6).

Para cumplir con los requerimientos técnicos de esfuerzo-deformación debida a las cargas y a los cambios térmicos se seleccionó aluminio de la serie 7075 comercialmente conocido como AluMold® 500 para fabricar las interfaces de conexión con el telescopio y con la cámara, así como la montura para la rueda filtros. Los elementos de sujeción como tornillos, tuercas, etc., se han elegido de catálogos comerciales y se ha procurado en todo momento la normalización para su fácil adquisición. En la sección de anexos tesis se muestran las propiedades del material empleado.

<b>RESTRICCIONES</b>	
Parte móvil para alineación y enfoque.	Plataforma de movimiento lineal.
Lentes que requieren alineación y enfoque	Lentes objetivos y lente de cámara con CCD.
Variación dimensional permisible en cualquier dirección debida a la temperatura y a los esfuerzos.	20 $\mu\text{m}$
Carga total para ser soportada.	100 N
Distribución de la carga.	30% cámara con CCD 30% rueda de Filtros 40% equipo electrónico.
Peso máximo.	Tan ligero como sea posible, no mayor a 25 Kg.

*Tabla 6 Restricciones operativas.*

### **Análisis de tensiones y deformaciones.**

Utilizando el método de los elementos finitos se realiza el correspondiente estudio de tensión y deformación. En las imágenes de la Figura 37 se aprecia gráficamente los efectos de la tensión y deformación que sufre la estructura mecánica de Berkut.

En la Tabla 7 se muestran los máximos esfuerzos y deformaciones obtenidos.

<b>Máximo esfuerzo</b>	
Estructura	6.842 MPa.

<b>Máxima deformación</b>	
Estructura	7.280 $\mu\text{m}$ .

*Tabla 7 Esfuerzos y deformaciones máximos.*

Como se aprecia en la tabla, la deformación máxima no excede el requerimiento permisible de 20  $\mu\text{m}$ . Este estudio se basa en la posición vertical que es en donde se tiene el mayor esfuerzo debido al peso de los elementos. Por lo que se puede concluir que en cualquier otra posición el valor de la deformación será menor al obtenido. Para asegurarse tanto que la malla generada y los resultados obtenidos son confiables, se hicieron varias simulaciones con tamaños y geometría de mallado diferentes hasta apreciar que los valores concuerdan.



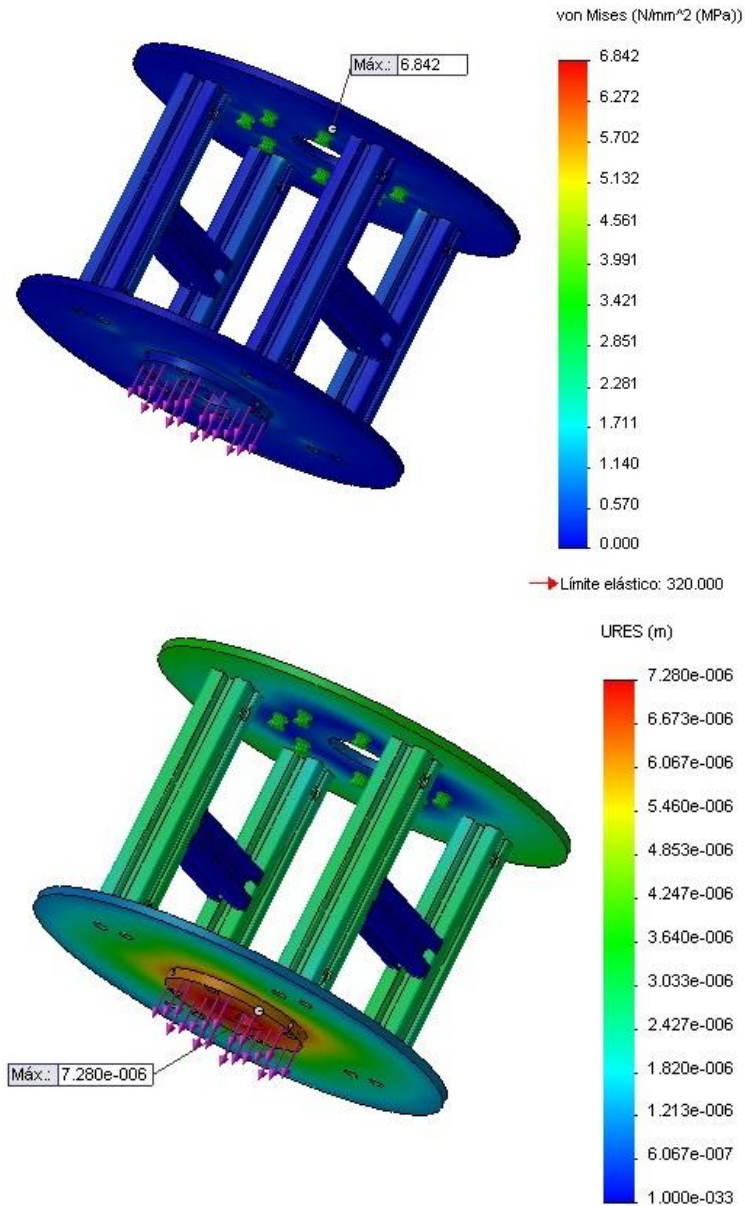


Figura 37 Análisis de tensión y deformación de la estructura de Berkut

### 3.6.2 Desarrollo Electrónico.

El sistema electrónico es la base hardware para la recepción de las señales del sistema de control y el acondicionamiento de las mismas para su uso en los elementos que proveen el movimiento del instrumento.

Para lograr la movilidad de los objetivos y que el intercambio de éstos se realice de forma remota se incorpora una plataforma de movimiento lineal. Los elementos que la componen se muestran en la Figura 38.

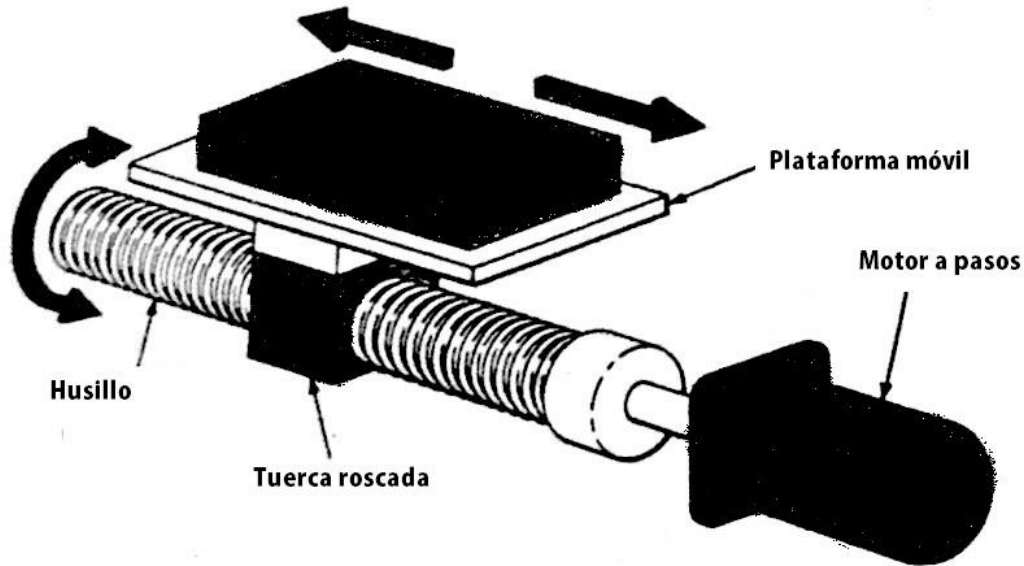


Figura 38 Plataforma de movimiento lineal.

Esta plataforma de movimiento lineal tiene acoplado un motor a pasos que es el que brinda el desplazamiento de los objetivos al convertir la energía eléctrica en energía mecánica, las características completas de este elemento se pueden consultar en la sección de anexos. Dentro de las características eléctricas de interés se encuentran:

Corriente de circulación por bobina  $I = 0.9 \text{ A}$

Voltaje de alimentación  $V = 5.0 \text{ V DC}$

Al ser un motor a pasos necesita de una secuencia especial de pulsos eléctricos para generar un movimiento, así como para darle el sentido de giro.

La secuencia utilizada se muestra en la tabla siguiente:

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Tabla 8 Secuencia de pulsos de movimiento para motor a pasos

La secuencia indica que para generar un paso se requiere que dos bobinas se encuentren energizadas al mismo tiempo, por lo que el consumo de corriente en ese instante será de

$$I = 1.8 \text{ A}$$

Este dato de corriente será el utilizado para los cálculos pertinentes.

El tener dos bobinas energizadas simultáneamente, le proporciona al motor un mayor par de arranque y cuando se encuentra detenido una mayor resistencia de inercia en su cambio de posición, por lo tanto garantiza que una vez que los objetivos se encuentren en la posición deseada éstos no se moverán por ningún motivo a menos que se les dé la orden de hacerlo.

La tarjeta de control proveerá la secuencia para darle sentido de giro, realizar el movimiento y detener el motor (como se verá en el siguiente apartado), sin embargo no provee la potencia necesaria para hacer girar el motor, dicha potencia debe ser suministrada por otros elementos electrónicos activos, como lo son los transistores configurados de tal forma que proporcionen la energía para hacer girar el motor. Dicha etapa se denomina “etapa de potencia”, ésta recibirá las instrucciones de la tarjeta de control a través de un arreglo de optoacopladores para evitar que una posible corriente de fuga dañe la tarjeta de control; a este arreglo se le denomina “etapa de acoplamiento”. Por otro lado el elemento a suministrar la energía necesaria es una fuente de poder externa. A continuación se presenta una breve explicación de cada uno de estos elementos.

### **Fuente de poder.**

Se utiliza un voltaje de alimentación de 5 VDC, la fuente de poder está basada en un transistor de potencia TIP 125 que permite el flujo de corriente de 3 Amperes, suficientes para alimentar el motor a pasos (sólo se requieren 1.8 A en un instante como se había mencionado anteriormente), y mantiene el voltaje estable con una variación de  $\pm 0.01$  V. El correspondiente circuito electrónico se muestra en la figura 39.

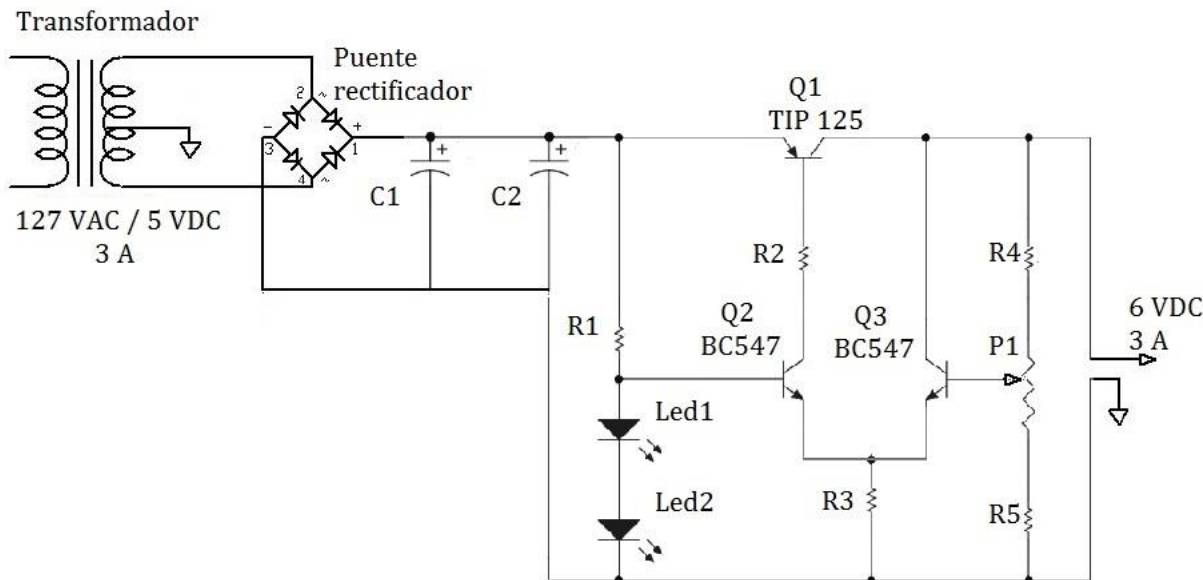


Figura 39 Circuito electrónico fuente de poder

Los leds Led1 y Led2 proporcionan una indicación visual de encendido del equipo pero también una forma sencilla de obtener un voltaje de referencia sobre el cual se puede variar el voltaje de salida de la fuente de alimentación con ayuda del potenciómetro P1. Éstos deberán estar ocultos del camino óptico o ser reemplazados por diodos con las mismas características eléctricas.

### **Etapa de potencia.**

La etapa de potencia la conforman 4 transistores de potencia (Q) TIP 120, que se encuentran en una configuración de conmutación en la cual el transistor recibe una señal de control en la base, dicha señal debe ser capaz de poner al transistor en conducción para permitir que la corriente que circula por el colector y que es proporcionada por la fuente de poder alimente a la bobina del motor a pasos. Se utiliza un transistor por cada bobina del motor, la señal de control en la base es proporcionada por la tarjeta de control.

### **Etapa de acoplamiento.**

La etapa de acoplamiento está formada por cuatro optoacopladores 4N25, estos aíslan eléctricamente a la tarjeta de control de la etapa de potencia. Esto quiere decir que ningún ruido eléctrico generado por el motor puede interferir en la operación de la tarjeta de control. Adicionalmente si un dispositivo o la etapa de control completa llegaran a sufrir algún daño, éste no se extendería hacia la tarjeta de control. Se tienen cuatro optoacopladores, uno por cada una de las

señales provenientes de la tarjeta de control para la secuencia de movimiento del motor a pasos.

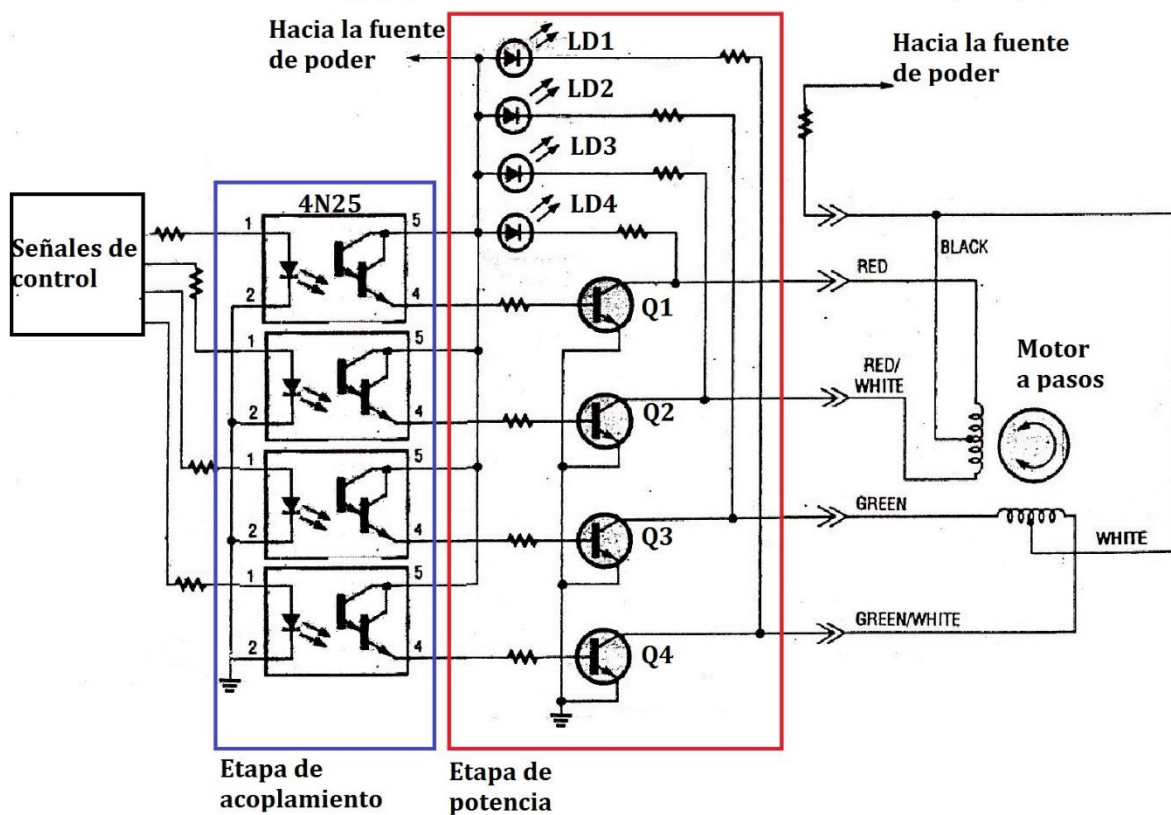


Figura 40 Circuito electrónico controlador de motor.

### Controlador de Motor (Driver).

A la unión de la etapa de potencia y de acoplamiento se le denomina, “controlador de motor” (Figura 40), ya que por su tamaño pueden ser fabricados en una sola pieza. En la figura se muestra el diseño final de la misma.

### 3.6.3 Desarrollo del control.

El control del instrumento Berkut será encargado de recibir las instrucciones del operador y transmitir las hacia la electrónica para realizar las diferentes tareas que se le indican. En este trabajo las tareas se limitan al posicionamiento de los objetivos y la comunicación entre computadora e instrumento, sin embargo en un futuro se pretende que de manera paralela se lleve a cabo un procesamiento de las imágenes obtenidas, es por esto que como etapa de control se eligió una tarjeta de desarrollo basada en tecnología FPGA cuyo modelo comercial es el Nexys 3 Spartan 6.

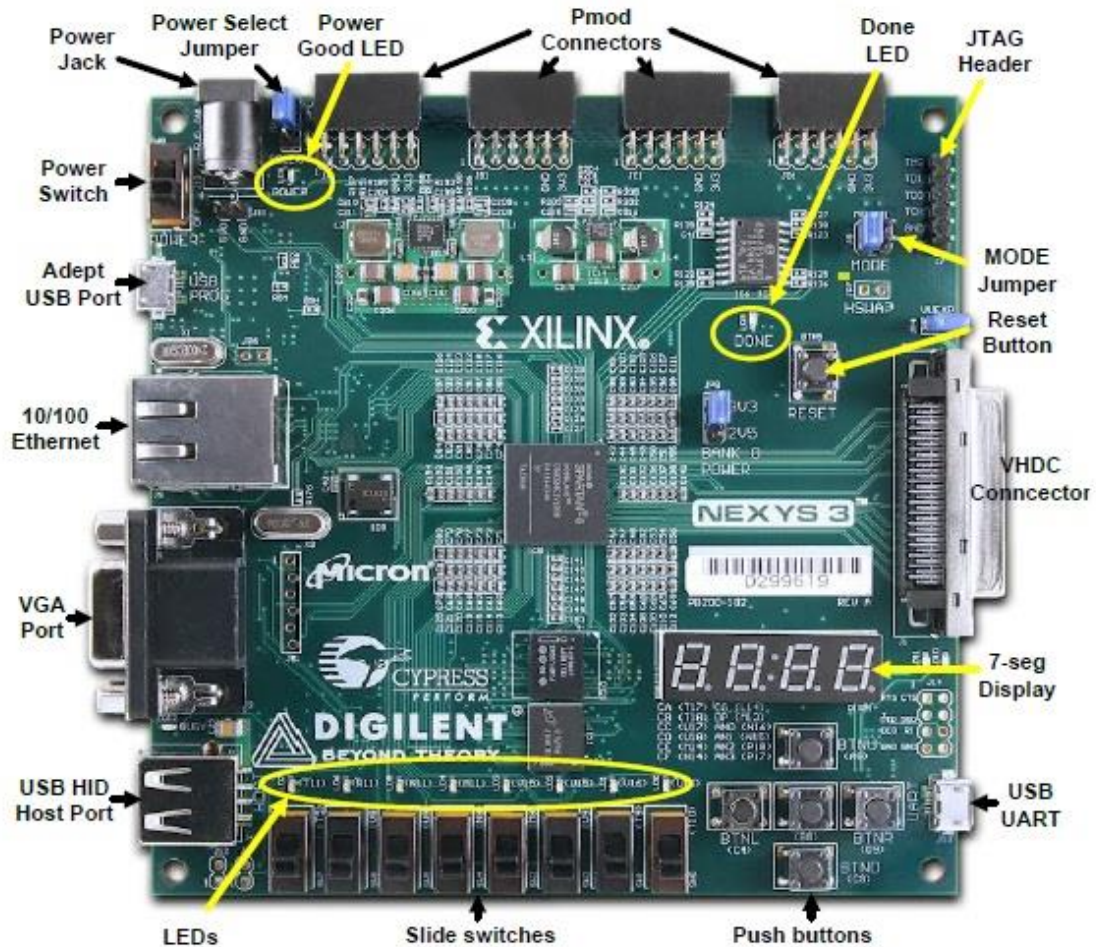
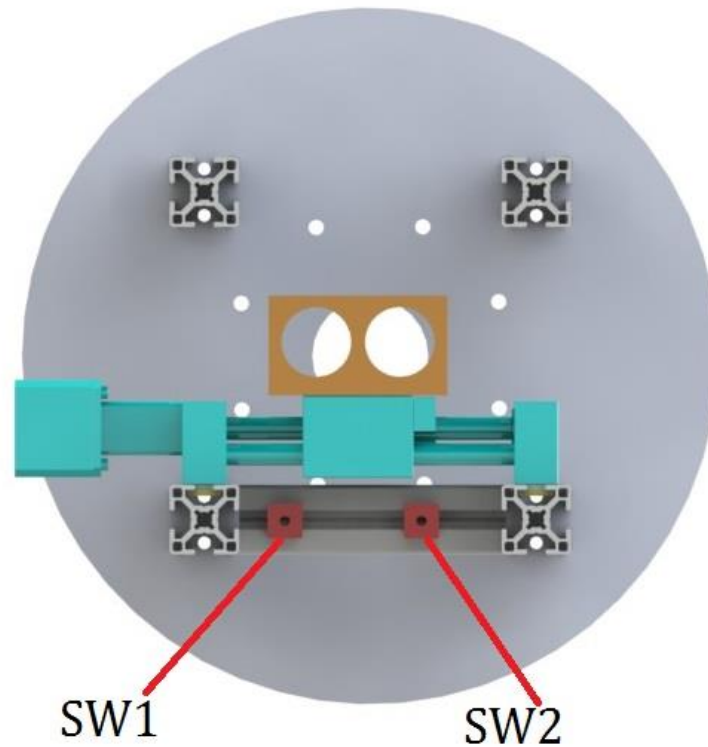


Figura 41 Tarjeta de desarrollo Nexys 3.

La tarjeta de control está programada con la secuencia de movimiento del motor a pasos y puede cambiar el sentido de giro de éste en cualquier momento. Se tiene la posibilidad de controlar paso a paso el avance de los objetivos para colocarlos en su posición correcta, sin embargo debido a que esto sería muy tardado y tedioso se han incorporado dos interruptores de posición en los lugares exactos en los que los objetivos quedan alineados con la cámara y el foco del telescopio. Los sensores se encuentran montados por debajo de la barra de desplazamiento lineal sobre el travesaño donde va montado esta última.

En la imagen 42 se muestra el lugar donde se encuentran los sensores de posición para determinar la colocación de los objetivos. La tarjeta de control recibe la señal de los interruptores y detiene la secuencia del motor, con lo que el objetivo seleccionado queda fijo para ser utilizado en las observaciones.



*Figura 42 Berkut con la ubicación de los interruptores de posición.*

### **Programación de la tarjeta de control**

La tarjeta Nexys 3, usada para su implementación, utiliza un lenguaje de programación denominado VHDL (Verilog Hardware Description Language). El VHDL es un lenguaje para descripción y modelado de circuitos que permite descomponer la estructura principal de diseño en subdiseños e interconectarlos.

### **La comunicación de la tarjeta de control.**

La comunicación entre partes se realiza mediante comunicación serial. La tarjeta Nexys 3 cuenta con un convertidor USB/serial incluido. El protocolo de comunicación es llevado a cabo mediante el uso del código ASCII (American Standard Code for Information Interchange) que permite usar un formato de 8 bits para generar los comandos de acción.

### **Implementación de la tarjeta de control.**

Para que la tarjeta de control lleve a cabo cada una de las tareas que se le indican, debe tener almacenados en memoria cada uno de los rutinas a ejecutar.

El desarrollo del instrumento Berkut ha sido un trabajo conjunto por lo que las características más importantes de la tarjeta de control, mayores detalles sobre

el uso y la implementación de la misma para el control del instrumento Berkut, pueden consultarse en la referencia [20]. Para la consulta de las características completas de la tarjeta Nexys 3 refiérase a las hojas de especificaciones proporcionadas por el fabricante que se presentan en la sección de anexos. A manera de resumen se presentan algunas de los comandos, las rutinas que se encuentran almacenadas en la tarjeta de control y sus conexiones físicas.

### **Rutinas almacenadas en tarjeta de control**

1. Recepción Serial
2. Transmisión Serial
3. Movimiento Motor
4. Maestro

Adicionalmente se cuenta con la rutina principal que se encarga de la organización de las cuatro anteriores.

### **Comandos ejecutables**

Los comandos que se pueden ejecutar con ayuda de las rutinas anteriores son las que se presentan en la tabla 9.

<b>Comando</b>	<b>Movimiento a realizar</b>
<b>Objetivo 1</b>	La plataforma de movimiento se desplaza en dirección al sensor de posición 1 y se detiene hasta llegar a su posición de enfoque.
<b>Objetivo 2</b>	La plataforma de movimiento se desplaza en dirección al sensor de posición 2 y se detiene hasta llegar a su posición de enfoque.
<b>Paso a paso Objetivo 1</b>	La plataforma de movimiento se desplaza en dirección al sensor de posición 1 dando un solo paso.
<b>Paso a paso Objetivo 2</b>	La plataforma de movimiento se desplaza en dirección al sensor de posición 2 dando un solo paso.
<b>Alto</b>	La plataforma de movimiento se detiene en la posición en la que se encuentre.

*Tabla 9 Comandos ejecutables por la tarjeta de control.*

### **Conexiones de la tarjeta de control**

En la Figura 43 se muestra un diagrama a bloques de la tarjeta de control con los respectivos elementos con los cuales se comunica. En la Figura 44 se muestra



las conexiones físicas que deben ser utilizadas en la tarjeta Nexys 3 y su correspondiente señal de control.

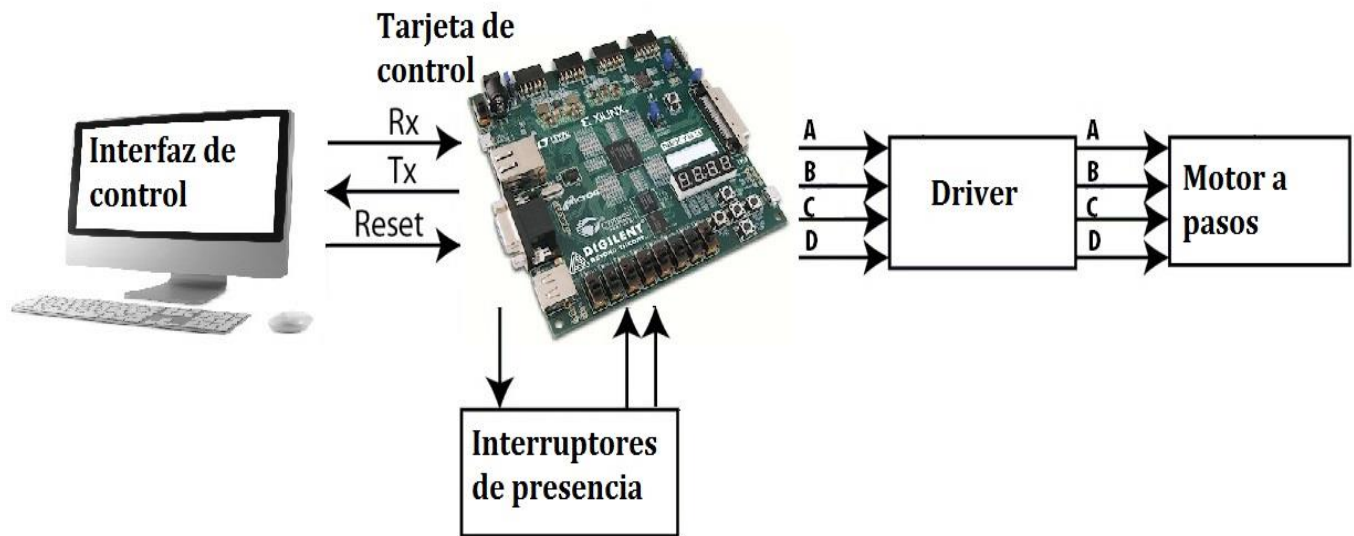


Figura 43 Diagrama a bloques de la tarjeta de control.

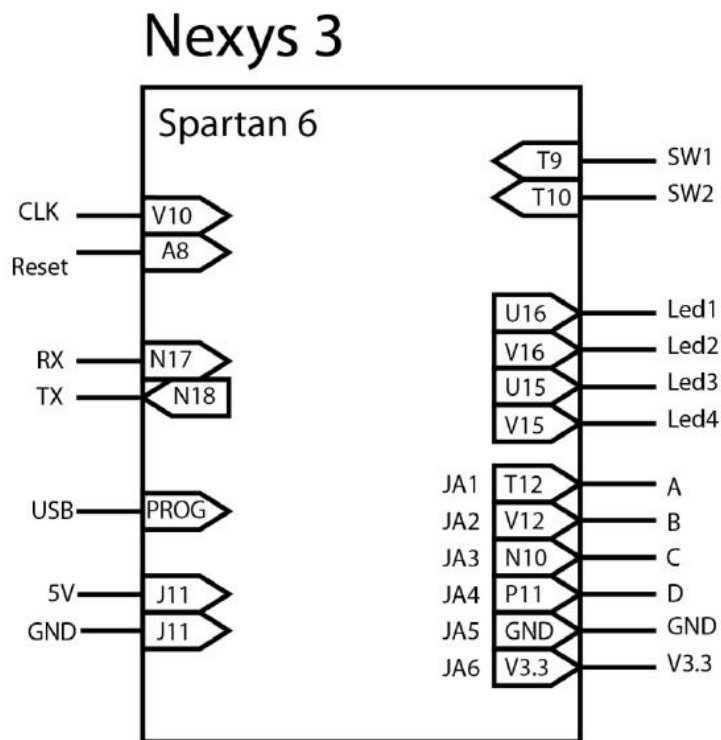


Figura 44 Conexiones físicas de la tarjeta de control.

En la tabla 10 se detalla el tipo de conector que requiere cada uno de estos puertos

<b>Grupo a conectar</b>	<b>Puerto</b>	<b>Conector</b>
Mecánica – Electrónica	Motor a pasos	DB – 9 Molex 6 pines macho (100 mils)
Mecánica – Electrónica	Interruptores	DB – 9 Molex 6 pines macho (100 mils)
Electrónica – Control (JA1 – JA6)	Motor a pasos	PMod Molex 6 pines macho (100 mils)
Electrónica – Control (T9 – T10)	Interruptores	PMod Molex 6 pines macho (100 mils)
Alimentación – Electrónica	Fuente a driver	Molex 2 pines macho (100 mils) - Molex 2 pines macho (100 mils)
Alimentación – Control (J11)	Fuente a driver	Molex 2 pines macho (100 mils) - Header 2 pines macho (100 mils)
PC – Control (RX – TX)	USB	USB tipo A – Mini USB tipo A
PC – Control (PROG)	USB	USB tipo A – Mini USB tipo A

*Tabla 10 Conexiones físicas y tipo de cable a utilizar en la tarjeta de control.*

### **3.6.4 Desarrollo de la Interfaz de control.**

Para la creación de la interfaz de control se emplea una programación orientada a objetos, ésta es ampliamente utilizada ya que brinda una gran facilidad en cuanto al manejo amigable por parte de quien lo utiliza. Existe una gran cantidad de software en el mercado especializado para el desarrollo de la interfaz, entre las más utilizadas se encuentran Python, Java, Visual Studio, Labview, Matlab, etc., sólo por mencionar algunas. La elección de cualquiera de ellas depende de las licencias de uso y de la habilidad del programador al utilizarlas, para el caso del desarrollo de la interfaz de Berkut se adoptó Labview.

Labview permite tener un trato muy amigable con el usuario permitiendo el uso de botones y leyendas para la fácil descripción y uso de los elementos en pantalla. Además contiene librerías para establecer la comunicación serial haciendo uso del puerto USB. La programación permite ubicar en un ambiente gráfico los diversos botones que colocan las lentes en su lugar y acceder de manera sencilla al control de la rueda de filtros.

En este ambiente gráfico es donde el operador puede elegir las opciones a realizar mediante los botones que se le muestran, a su vez se realiza la comunicación con la tarjeta de control y finalmente con el driver que comandan el movimiento del motor a pasos de la plataforma de movimiento lineal. Sobre los botones se

encuentran varias leyendas que cambian dependiendo de la posición de las lentes indicando qué lente está en posición o en su defecto si se encuentra movimiento.

Para poder mostrar las diferentes leyendas en pantalla debe comunicarse con la tarjeta de control. La forma de comunicarse es con el protocolo serial que puede manipularse desde un control visual que permite cambiar los parámetros de la comunicación como:

Puerto COM, Baudios, Bits de dato, Paridad, Bits de paro, flujo de control.

Para tener un mayor detalle sobre el uso y la implementación del desarrollo de la interfaz de control para el instrumento Berkut, pueden consultarse la referencia [20].

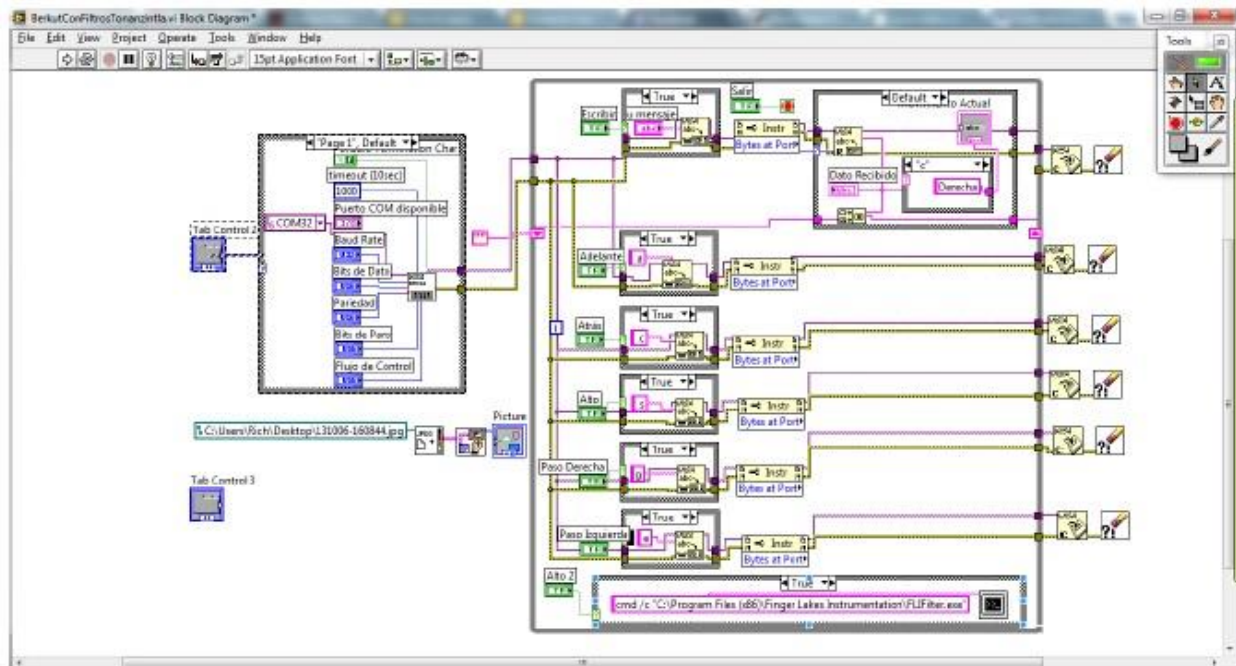


Figura 45 Interfaz de control. Ambiente del programador.



*Figura 46 Interfaz de control. Pantalla del usuario.*

# CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN DE BERKUT CON EL TELESCOPIO.

**H**asta este momento se ha revisado el diseño y el desarrollo del instrumento Berkut de una manera un tanto aislada del telescopio (exceptuando la interfaz de conexión con el telescopio), no se ha indicado una interacción más profunda con el mismo. En este capítulo se presentan algunas consideraciones que deben hacerse cuando se desee acoplar Berkut con el telescopio.

Se inicia este capítulo con un panorama general del ensamble de Berkut en sus partes mecánicas, continuando con su integración con la parte electrónica. Una vez que se ha ensamblado el instrumento se procede a su embalaje para transportación al sitio donde será requerido y finalmente su integración con el telescopio.

## 4.1 Desarrollo del carácter y atributos del sistema

### 4.1.1 Esquema general de integración.

La integración general de Berkut con el telescopio debe cumplir la configuración que se muestra en la Figura 47. En ella se aprecia la importancia de un buen acoplamiento para el camino óptico.

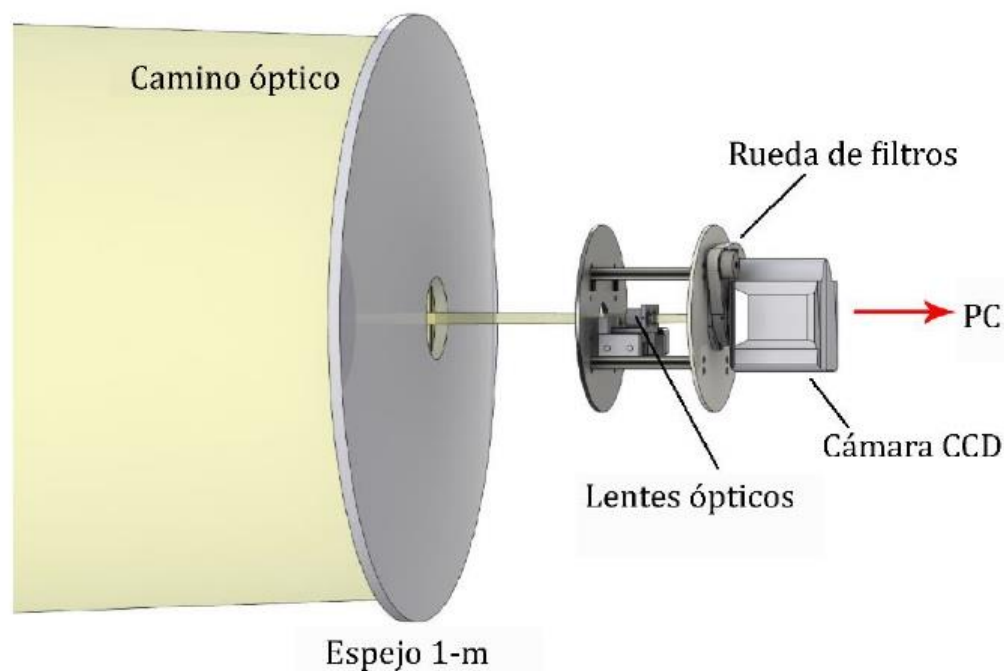


Figura 47 Esquema general de integración de Berkut

### 4.1.2 Ensamblaje mecánico.

La estructura principal del instrumento Berkut se compone de:

- ✓ Interfaz de conexión con el telescopio
- ✓ Interfaz de conexión con la cámara
- ✓ Montura para rueda de filtros
- ✓ 4 perfiles estructurales
- ✓ 2 perfiles travesaños
- ✓ Plataforma de desplazamiento lineal (con el soporte para objetivos)
- ✓ 4 cubiertas antirreflejantes

La forma en que se ensamblan estos elementos es con ayuda de tornillos M5 con sus respectivas tuercas, tuercas cabeza de martillo y empalmadores de pernos. Los detalles de cómo llevar a cabo el ensamble se describen en el anexo B. Los planos de construcción de estos elementos se pueden consultar en el anexo A.

Se recomienda que el ensamble se lleve a cabo en un laboratorio previo a ser transportado al sitio de trabajo.

Una vez que se tenga ensamblado el instrumento éste debe ser calibrado, es decir que las lentes estén en su posición exacta ajustando los interruptores de posición para tener un paralelismo entre los lentes microscopios y las aberturas correspondientes de la interfaz de conexión con el telescopio y la interfaz de conexión con la cámara.



*Figura 48 La estructura del instrumento Berkut completamente ensamblado.*



*Figura 49 Berkut ensamblado con cubiertas antirreflejante.*

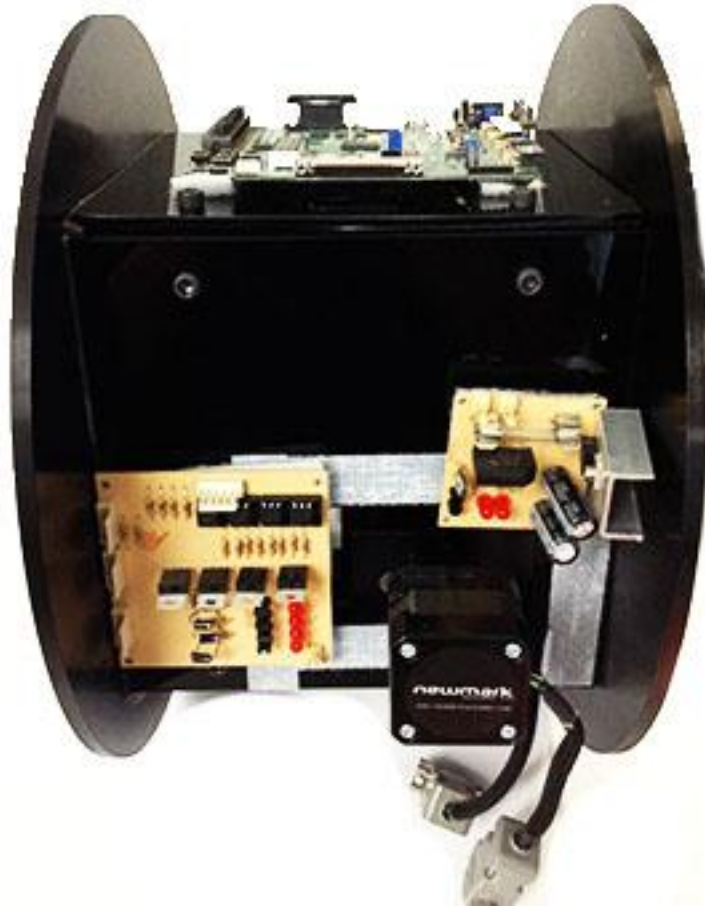
### **4.1.3 Integración con la electrónica.**

Al igual que en el caso del ensamble de la estructura mecánica, se recomienda que la conexión de los componentes electrónicos se lleve a cabo con anterioridad al ser instalado en sitio, de preferencia en un laboratorio y siguiendo los pasos que se describen el manual de uso que se encuentra en la referencia [20], y en el anexo C de este trabajo.

Debido a que algunos de los componentes electrónicos disipan calor hacia el ambiente, no era conveniente que estos se encontraran dentro de la estructura del instrumento, por lo que las tarjetas electrónicas se colocaron por fuera del instrumento montadas sobre las cubiertas con ayuda de tornillos de sujeción.

En la Figura 50 se muestra la ubicación de las tarjetas electrónicas.





*Figura 50 Berkut ensamblado con las tarjetas electrónicas.*

Otro punto que es tomado en cuenta para esta integración es la de repartir el peso del instrumento para evitar que un solo lado sea el que tenga mayor cantidad y cause torque en la montura con el telescopio. En este caso el transformador de voltaje representa en su totalidad el peso generado por la electrónica, por lo que se decide colocarlo del lado opuesto para balancear la masa.

Cuando se tenga integrada la electrónica a la estructura mecánica, debe comprobarse su funcionamiento a través de la interfaz de control.

#### **4.1.4 Embalaje**

El transporte de Berkut será a través de una maleta convencional, de dimensiones tales que pueda ser guardado totalmente ensamblado (55 cm de largo, 42 cm de ancho y 27 cm de alto). Debe ser de este modo para evitar retardos en el sitio de observación, además de que el instrumento ha sido diseñado

especialmente para que una vez ensamblado no se requiera su desensamblaje y sea compacto para su transportación. En la Figura 51 se observa el instrumento Berkut dentro de su gabinete de transportación. En caso de requerirlo, puede ser transportado igualmente por partes. La razón principal de que sea ensamblado y calibrado con anticipación es asegurar que Berkut se guarde en su gabinete completamente funcional.



*Figura 51 Berkut dentro de su gabinete para transportación.*

#### **4.1.5 Integración con el telescopio.**

A continuación se presentan las consideraciones generales que se siguieron para integrar el instrumento Berkut al Telescopio de 1 m.

1. Antes de acoplar el instrumento Berkut al telescopio se debe asegurar que la distancia entre la platina de conexión del telescopio y el foco del espejo secundario sea de 180 mm, de este modo el foco del espejo secundario coincide con la posición de los objetivos.
2. De no cumplirse con la distancia correcta deberá ajustarse mediante el recorrido del espejo secundario si es que éste es movable, si no lo es, se

deberá incluir una extensión mecánica al menos tan rígida como la interfaz de conexión con el telescopio de Berkut (refiérase a los valores de FEA en el capítulo anterior para este propósito).

3. La forma de acoplar la interfaz de conexión con el telescopio al telescopio es con 8 tornillos M5 y sus respectivas tuercas, si el telescopio no tiene esta distribución se deberá hacer una interfaz con tales características que cumplan lo anterior.
4. Cuando se tenga montada la estructura del instrumento Berkut a la platina del telescopio, se procede al montaje de la rueda de filtros y la cámara con CCD.
5. Finalmente se incorporan las tarjetas electrónicas y se realizan las conexiones correspondientes.

Para llevar a cabo los ensambles, sólo se requiere de la herramienta convencional que se presenta en la tabla 11.

<b>Herramienta</b>	<b>Medida</b>
Desarmador de caja	5/16 in
Desarmador punta de estrella	T6
Desarmador plano	1/8 in X 2in
Llave tipo Allen	1/8 in
Llave tipo Allen	3/32 in
Llave tipo Allen	5/32 in

*Tabla 11 Lista de herramienta para la integración de Berkut.*



*Figura 52 Herramienta para la integración de Berkut*

#### **4.1.6 Pruebas realizadas en el telescopio.**

En Marzo 2014 se visitó el Observatorio Astronómico Nacional sede Tonantzintla, Puebla. En el telescopio de 1 metro se realizaron las pruebas de integración correspondientes, las siguientes imágenes muestran algunos de estos procedimientos.



*Figura 53 La platina de conexión del telescopio*



*Figura 54 Colocación de extensión ya que no se cumple con la distancia requerida.*



*Figura 55 Integración de la estructura de Berkut con la platina del telescopio.*



*Figura 56 Berkut integrado a la platina del telescopio mediante una extensión.*



*Figura 57 Montaje de la rueda de filtros y de la cámara con CCD.*



*Figura 58 Berkut completamente integrado al telescopio de 1m.*



*Figura 59 La interfaz de usuario instalada en una computadora de la sala de control.*

#### **4.1.7 Observaciones realizadas durante el periodo de trabajo**

El instrumento Berkut estuvo en operación durante 8 horas sin que se presentara alguna anomalía respecto a su funcionamiento.

La comunicación entre la interfaz de control que fue instalado en una computadora que se encuentra en la sala de control y el sistema mecatrónico que conforman la tarjeta de control, la electrónica de potencia y la plataforma de desplazamiento lineal se realizó correctamente.

Algunos de los problemas detectados fueron los siguientes:

Al hacer uso de la óptica fue necesario cambiar de posición los interruptores de presencia de las lentes ya que no se encontraban alineadas, éste es un proceso normal ya que durante el desarrollo de la mecatrónica no fue posible utilizar la óptica con anticipación.

La interfaz de control del instrumento consumía demasiados recursos de memoria de la computadora donde fue instalada y obstaculizaba el trabajo con el programa de adquisición de imágenes.

## *4.2 Logros obtenidos*

Para describir los logros obtenidos en el desarrollo de Berkut se tiene que hacer referencia a los objetivos planteados. El principal objetivo era la fabricación y puesta a punto del instrumento lo cual se cumplió totalmente. La tabla 12 resume los objetivos particulares que se plantearon, si estos fueron cumplidos y de qué forma.

En resumen el instrumento Berkut está conformado de los elementos que se presentan en la tabla 13.

El total de elementos principales con lo que cuenta Berkut es de 13, en comparación con los 16 con los que se ensamblaba Tohtli, si bien no parece una reducción significativa, debe tomarse en consideración que Berkut incorpora elementos que le permiten hacer cambios en los objetivos de forma remota y automática. En la tabla 14 se presenta el peso aproximado de Berkut.

El peso de Berkut es mayor con respecto al reportado para Tohtli, sin embargo en ésta ocasión se está considerando el peso de la cámara y de la rueda de filtros, si no se consideran estos elementos, el peso de la estructura es de 6.362 [kg] que representa aproximadamente el doble del peso de Berkut. Este incremento se debe de igual forma a los elementos que le proporcionan el control a distancia,



como son la electrónica y la plataforma de desplazamiento cuyo peso se considera dentro de la estructura.

Aún con este incremento de peso, éste no llega a ser importante ya que se cumple y por mucho el objetivo de que el instrumento completamente ensamblado tenga un peso inferior a los 25 kg, por lo que puede ser levantado por una sola persona cumpliendo así el otro objetivo de mantenerse como un instrumento fácilmente transportable.

<b>Requerimiento</b>	<b>Solución</b>
Utilización de dos lentes objetivos	Desarrollo de una pieza mecánica para el montaje de dos lentes objetivos.
Utilización de filtros ópticos	Se integró una rueda de filtros comercial con 7 filtros a escoger.
Cambio de lente objetivo y filtro sin tener que desensamblar el instrumento	El cambio de lente objetivo y de filtros se lleva a cabo a través de la plataforma de desplazamiento lineal, el sistema electrónico y el sistema de control.
Eliminar piezas pequeñas de soporte para el armado del instrumento.	Se redujo al mínimo la utilización de piezas pequeñas para el ensamblado del instrumento, ver anexo tal ensamblaje de la estructura.
Recubrimiento especial para evitar oxidación	Las piezas del instrumento cuentan con una capa de anodizado para evitar oxidación.
Evitar el uso de extensiones al integrar el instrumento con el telescopio.	El diseño de la estructura está de acuerdo con especificaciones de los astrónomos por lo que no fue posible evitar el uso de extensión.
Cubiertas que no generen reflexión de luz al interior del instrumento	Las nuevas cubiertas son fabricadas en acrílico oscuro y matizadas en su cara interior para evitar el reflejo.
Captura de imágenes de forma automática	Al momento no se ha cumplido este objetivo ya que no se tiene acceso a la rutina de captura de imágenes.
Independencia del instrumento	Con la electrónica y la interfaz de control se ha logrado cierto nivel de independencia del operador, sin embargo de acuerdo al punto anterior aún se requiere de su presencia para ciertas tareas.
Una interfaz de comunicación con el operador	La interfaz de control que se instala en una computadora permite la comunicación directa entre instrumento y usuario.

*Tabla 12 Requerimiento y soluciones*

<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>
Barra	4	Al 6063 – T5
Travesaño	2	Al 6063 – T5
Interfaz con el telescopio	1	Al 7075
Interfaz con la cámara	1	Al 7075
Montura para rueda de filtros	1	Al 7075
Soporte lente	1	Al 7075
Cubierta	4	Acrílico
Componentes comerciales		
Objetivo	2	-----
Plataforma de movimiento lineal	1	-----
<b>Total</b>	<b>13</b>	-----

*Tabla 13 Elementos que conforman Berkut.*

<b>Elemento</b>	<b>Peso [Kg]</b>
Estructura	4.7
Cubiertas	0.662
Electrónica	1
Rueda de filtros	0.739
Cámara	0.61
<b>Total</b>	<b>7.711</b>

*Tabla 14 Peso de los elementos de Berkut.*

#### **4.2.1 Logros académicos.**

El desarrollo del instrumento Berkut, no sólo representa un logro en general para el IA – UNAM y para la universidad en general, sino también brinda la oportunidad de participar en congresos nacionales e internacionales como fueron:

- SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation.
- XXV Congreso Nacional de Astronomía.

- 4º Congreso de alumnos de posgrado de la UNAM.

La publicación y carteles realizados para su presentación en los mencionados congresos pueden consultarse en la sección de anexos.

### *4.3 Facilidad de integración*

La integración de los diferentes sistemas que componen Berkut se realiza de una manera sencilla debido a que se estandarizó el tipo de tornillos a M5, y sólo en algunos casos como lo es la montura para la rueda de filtros el largo de los tornillos es diferente. Así mismo las tuercas de cabeza de martillo facilitan el aseguramiento de las cubiertas para realizarlas de forma manual, por lo que para llevar a cabo el ensamblado total del instrumento y su acoplamiento con el telescopio sólo requiere de herramienta básica que puede encontrarse en cualquier taller mecánico.

### *4.4 Tiempos de integración*

Alrededor de 2 horas fueron necesarias para montar el instrumento al telescopio, este tiempo ya incluye el necesario para la alineación de los objetivos (ajuste de los interruptores de límite) con el foco del espejo secundario del telescopio.

### *4.5 Problemas encontrados*

Las condiciones climatológicas durante los días en Tonanzintla sólo permitieron un día de cielo despejado lo que se traduce en únicamente una noche de observación astronómica. Fue durante este periodo que se realizaron las siguientes observaciones que pueden aplicadas al mejorar tanto el desempeño como la portabilidad del instrumento Berkut.

La interfaz de control consume demasiados recursos computacionales de la computadora en donde se instaló.

Debido a que la tarjeta de control, la rueda de filtros y la cámara con CCD son adquiridas de forma comercial, cada uno de ellos cuenta con sus adaptadores de voltaje para su alimentación sumados a los cables necesarios para la conexión de la computadora con su respectivo monitor y los cables USB de interconexión entre la tarjeta de control y el instrumento, se suma una gran cantidad de cables que si bien están debidamente identificados representan una oportunidad de mejora.

Algo similar al punto anterior sucede con la interfaz de control, el software controlador de la rueda de filtros y la rutina para la captura de imágenes, aunque los dos últimos están embebidos en la interfaz de control, es decir pueden ser ejecutados desde su ambiente, siguen siendo programas que corren independientes. Lo más recomendable es que se integraran completamente en el código escrito que despliega la interfaz de control.

La extensión mecánica fue necesaria ya que no se lograba un enfoque correcto entre el espejo secundario y los objetivos, esto no es lo más recomendable pero no se tuvo el tiempo necesario en el telescopio para verificar las distancias ópticas, además de que el diseño del instrumento corresponde con especificaciones provistas anteriormente.

#### *4.6 Factibilidad de comercializar Berkut*

Berkut será replicado al menos una vez más en 2014 para el Observatorio Astronómico Nacional sede San Pedro Mártir y en 2015, se espera fabricar 2 más para telescopios nacionales aún por confirmar. Por lo que el costo de la fabricación del instrumento Berkut se vuelve un factor importante a considerar, dentro de los elementos que mayor costo representan se encuentran la plataforma de desplazamiento lineal, la rueda de filtros, la cámara con CCD y los lentes objetivos, exceptuando la plataforma, los demás son elementos ópticos por lo que su costo real dependerá de la calidad con la que se quieran realizar las observaciones, es decir dependerá de los requerimientos de los astrónomos. En la sección de anexos se presenta una lista de componentes que deben ser adquiridos si se desea replicar el instrumento Berkut, junto con algunos precios aproximados.

Al costo total que se presenta aún falta agregar el costo por mano de obra por el maquinado de las piezas, el tiempo de programación de la tarjeta de control y la fabricación de las tarjetas electrónicas. De este modo y por la cantidad que se presenta y considerando que se trata de un instrumento de precisión su costo es relativamente bajo para los estándares que se manejan comercialmente en equipos de medición basados en principios ópticos y que son los de mayor uso en el estudio de la Astronomía.

# CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.

**E**l diseño del instrumento Berkut, su fabricación y su posterior integración al telescopio de 1 m del observatorio de Tonantzintla, representa un avance muy importante en cuanto al desarrollo de infraestructura propia del IA - UNAM y en consecuencia del País en materia de investigación científica. Así mismo representa un paso adelante en el sentido de que se trata de un instrumento que desde su concepción se ha ido modificando e incorporando nuevos elementos para hacerlo más versátil y de fácil utilización sin perder de vista el propósito para el cual fue creado, por lo tanto es posible afirmar que ésta no será la última versión de este instrumento y que en un futuro cercano se estará presentando una nueva iteración del mismo, incorporando mejoras sustanciales.

La conclusión más importante, por tanto es la aplicación de los principios de diseño, particularmente el método apodíctico del diseño, ingeniería inversa e ingeniería concurrente para el desarrollo del instrumento Berkut, dando como resultado la creación de una nueva versión que incorpora un sistema electrónico de control y una interfaz de operación que le permite funcionar de una manera semiautomatizada, cumpliendo con ello los requerimientos y especificaciones aceptablemente y dentro de tolerancias.

Adicionalmente para la realización de este trabajo se formó un equipo multidisciplinario en el que se incluyeron físicos, astrónomos, ingenieros mecánicos e ingenieros electrónicos, en la cual la función principal del autor de esta tesis fue la de rediseñar conceptualmente y manufacturar los componentes basándose en los requerimientos que los especialistas de las diferentes disciplinas aportaron. Todo esto da como resultado un instrumento que brinda apoyo a los investigadores en continuar con sus estudios científicos, lo que a su vez beneficia a la sociedad en general.

## 5.1 Trabajo a futuro

Atendiendo al punto tal donde se presentaron algunos de los problemas detectados en esta versión de Berkut durante las pruebas realizadas en el sitio de Tonantzintla, se pueden mencionar las siguientes sugerencias o posibles soluciones.

El software utilizado para el desarrollo de la interfaz de control fue Labview, este lenguaje de programación cuenta con una instrucción en la que al aplicarla a la interfaz de control la hace que esta se ejecute en segundo plano. Más detalles acerca de cómo se resolvió este problema este problema se puede consultar en la referencia [20].

Como el instrumento está pensado para ser portable y de fácil instalación, se debe tener una sola fuente de poder para alimentar a todos los equipos electrónicos, todos los puertos de conexión deben ser colocadas en un solo panel del instrumento facilitando así la conectividad tanto al suministro de energía como al ordenador con el que se trabaja. Además de esta manera se evita tener que abrir el instrumento para hacer las conexiones.

Se requiere de escribir un programa que abarque completamente la operación de la rueda de filtros y la adquisición de imágenes, además de que aproveche las capacidad de la tarjeta controladora FPGA para llevar a cabo un preprocesamiento de imagen ya que al momento se desaprovechan una gran cantidad de sus capacidades y liberaría memoria computacional para llevar a cabo otras tareas.

Para evitar el uso de la extensión mecánica se debe trabajar en conjunto con los encargados de los cálculos de la óptica geométrica a fin de encontrar un estándar en cuanto a la distancia de separación entre la platina y el foco del espejo secundario que debe coincidir con la posición de los objetivos. De este modo definir el largo de la estructura del instrumento, de no ser así se deberá continuar utilizando una extensión.

# REFERENCIAS

- [1] C. G. J. Francisco. [En línea]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/staff/francis/pdf/telescopios-web.pdf>.
- [2] P. Y. Belly, *The Design and Construction of Large Optical Telescopes*, New York: Springer, 2003.
- [3] SENER, «SENER Aeroespacial,» [En línea]. Available: <http://www.sener-aerospace.com/AEROESPACIAL/ProjectsD/dispositivo-de-alineacion-para-gaia-m2m/es>.
- [4] J. e. a. Castro, «Development of a test rig for the active control of a segmented mirror support system,» de *Proc. SPIE 2871*, 1995.
- [5] A. e. a. Farah, «Diseño y fabricación optomecánicos en la instrumentación astronómica: OSIRIS,» de *Optomechanical Design and Engineering 2001, SPIE Vol. 4444*, San Diego, 2008.
- [6] H. e. a. Gutierrez, «Design and integration of a mechanism for focusing and alignment of the Echelle spectrograph for the telescope of 2.1 meters of the National Astronomic Observatory,» de *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V Proc. SPIE 9147*, Montréal, 2014.
- [7] M. Reyes, «Óptica inteligente,» *IAC Noticias*, vol. 1, pp. 17 - 25, 2002.
- [8] I. d. A. UNAM, «Observatorio Astronómico Nacional. Tonantzintla Puebla,» [En línea]. Available: <http://www.astroscu.unam.mx/Tonantzintla/>.
- [9] E. P. P. Horch, *Speckle imaging with the multi-anode microchannel array detector*, Stanford University, 1994.
- [10] J. C. Dainty, *Láser Speckle and Related Phenomena*, Springer-Verlag, 1984.

- [11] A. Soto, Detección de microdesplazamientos en sistemas cilíndricos utilizando interferometría panorámica, Queretaro: Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [12] C. Julian, SEEING EFFECTS AND THEIR CALIBRATION FOR ASTRONOMICAL SPECKLE INTERFEROMETRY OBSERVATIONS, Las Cruces, New México: New Mexico State University, 1985.
- [13] I. C. o. S. o. I. Design, «International Council of Societies of Industrial Design,» [En línea]. Available: <http://www.icsid.org/>.
- [14] A. Gómez, Diseño y manufactura en la instrumentación astronómica: Interferómetro de motas, México, D. F.: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2007.
- [15] G. Aguirre Esponda, «Un Enfoque Apodíctico del Diseño,» *Ai México*, 2011.
- [16] V. V. e. a. Voitsekhovich, «FIRST TEST OF THE DRAGON EQUIPMENT,» *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, n° 41, pp. 399 - 405, 2005.
- [17] «Design, Numerical Analysis and Implementation of an Optomechanical System for Speckle Interferometry at the Observatorio Astronómico Nacional,» de *ISMOT*, Prague, Czech Republic, 2011.
- [18] R. Vazquez, Reingeniería, manufactura y pruebas de aceptación del instrumento de interferometría de motas, Tohtli, para el Observatorio Astronómico Nacional, México, D. F.: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2011.
- [19] H. motion, «MCS Sistema de Estructuras de Aluminio y Construcción de Máquinas,» [En línea]. Available: <http://www.hepcomotion.com/es/mcs-sistema-de-estructuras-de-aluminio-y-construccion-de-maq-pg-14-get-423>.
- [20] R. Granados, Diseño optomecatrónico e integración del interferómetro de motas Berkut a telescopios clase 1 metro, México, D. F.: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2014.
- [21] D. I. C. o. S. o. Industrial, «International Council of Societies of Industrial Design,» [En línea]. Available: <http://www.icsid.org/>.

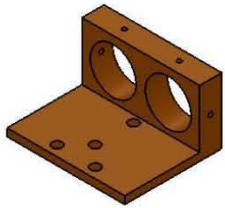
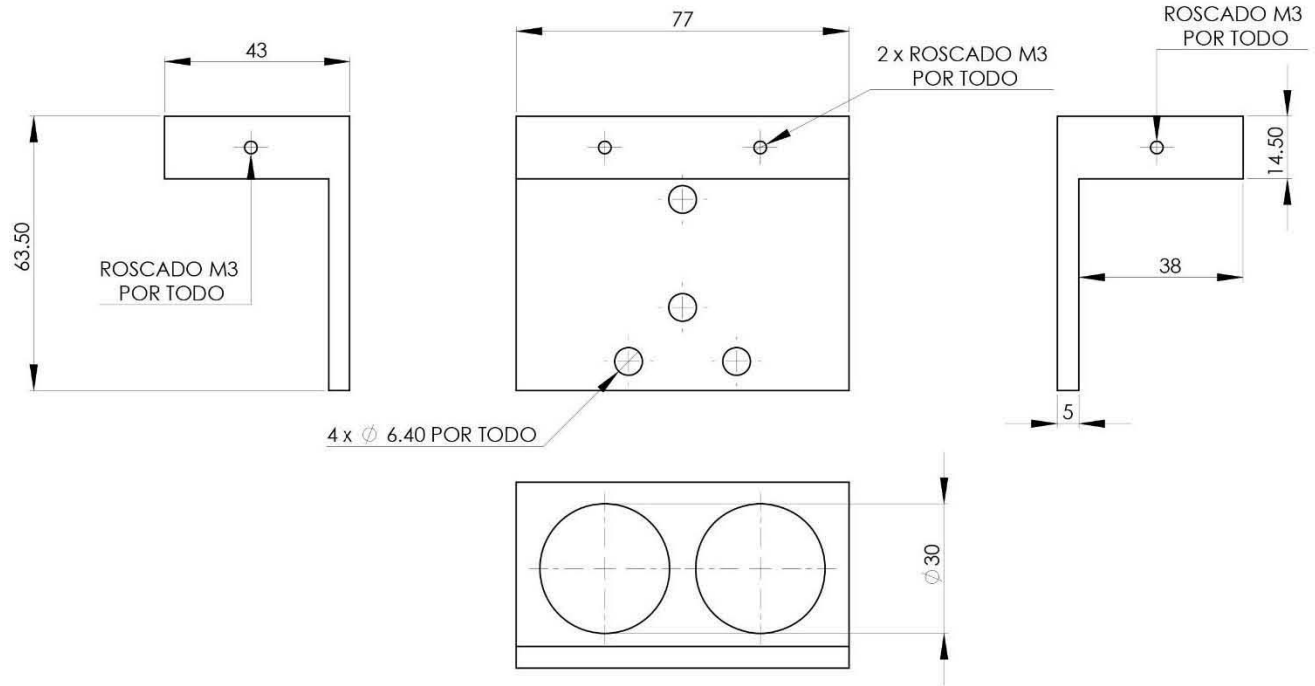


# ANEXOS.

- A. Planos de construcción del instrumento Berkut sistema mecánico.
- B. PCB del instrumento Berkut sistema electrónico.
- C. Costo aproximado de Berkut.
- D. Manual de ensamble de la estructura mecánica de Berkut.
- E. Características de material.
- F. Artículo SPIE.
- G. Poster SPIE.
- H. Poster CNA.
- I. Elementos comerciales.

*Anexo A. Planos de construcción del instrumento  
Berkut. Sistema Mecánico.*

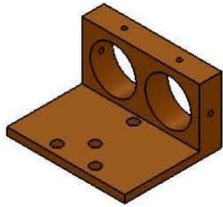
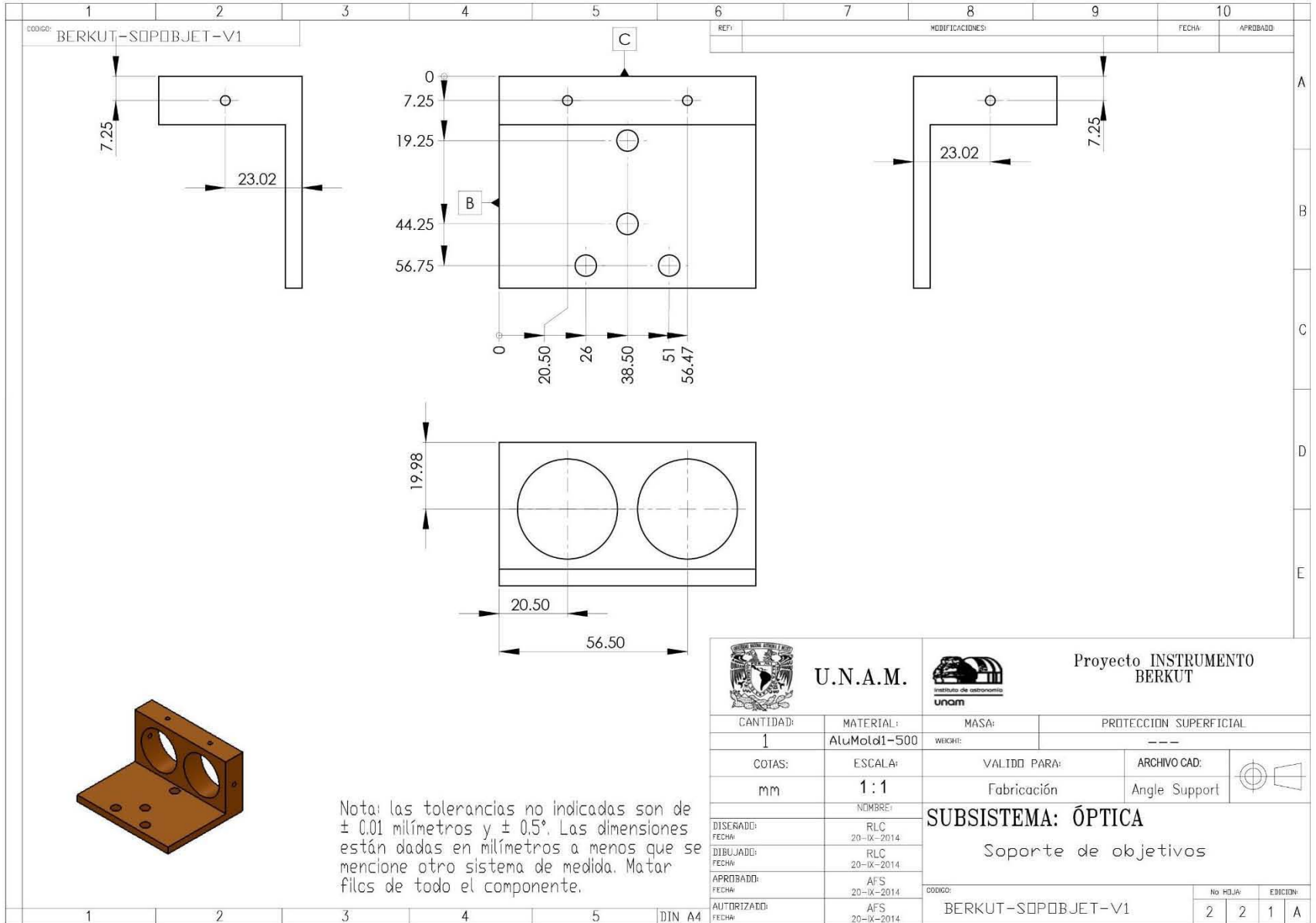
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-SOPOBJET-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

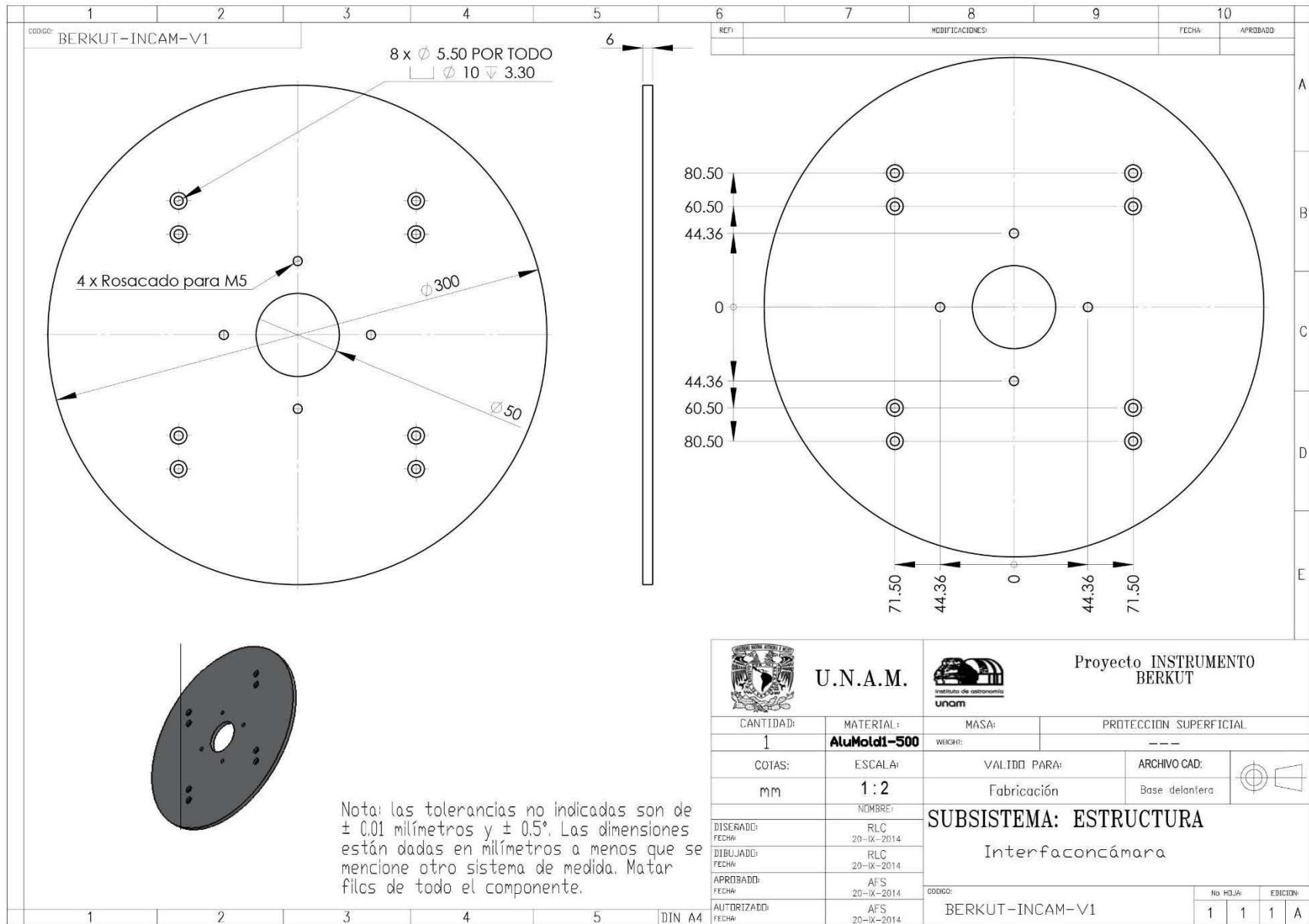
 <b>U.N.A.M.</b>		 <b>Proyecto INSTRUMENTO BERKUT</b>	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL:
1	AluMold1-500	WEIGH:	---
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:
mm	1:1	Fabricación	Angle Support 
NOMBRE: DISEÑADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 DIBUJADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 APROBADO: AFS FECHA: 20-IX-2014 AUTORIZADO: AFS FECHA: 20-IX-2014		<b>SUBSISTEMA: ÓPTICA</b> Soporte de objetivos	
CODIGO: BERKUT-SOPOBJET-V1			No. HOJA: 1 EBICION: 1 A

1	2	3	4	5	DIN A4
---	---	---	---	---	--------



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

 <b>U.N.A.M.</b>		 Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL:
1	AluMold1-500	WEIGH:	---
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:
mm	1:1	Fabricación	Angle Support 
NOMBRE: DISEÑADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 DIBUJADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 APROBADO: AFS FECHA: 20-IX-2014 AUTORIZADO: AFS FECHA: 20-IX-2014		SUBSISTEMA: ÓPTICA Soporte de objetivos	
CODIGO: BERKUT-SOPOBJET-V1			No. HOJA: 2 EBICION: 1 A



CODIGO: BERKUT-INCAM-V1

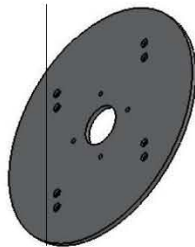
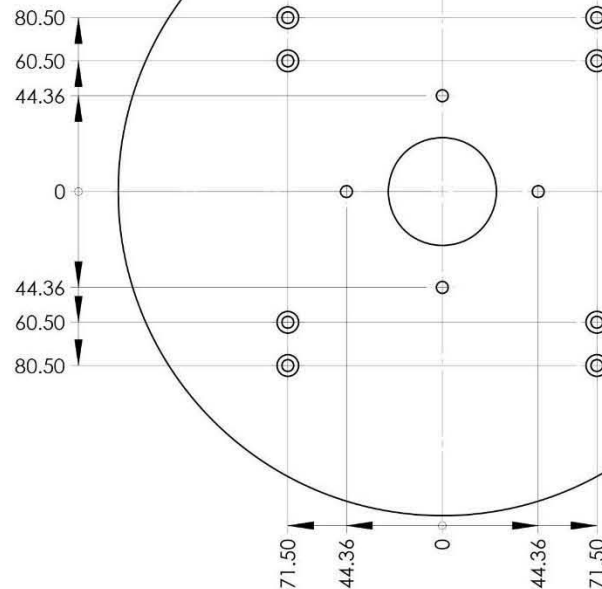
8 x  $\varnothing$  5.50 POR TODO  
 $\square$   $\varnothing$  10  $\nabla$  3.30

4 x Rosacado para M5

$\varnothing$  300

$\varnothing$  50

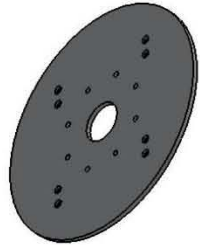
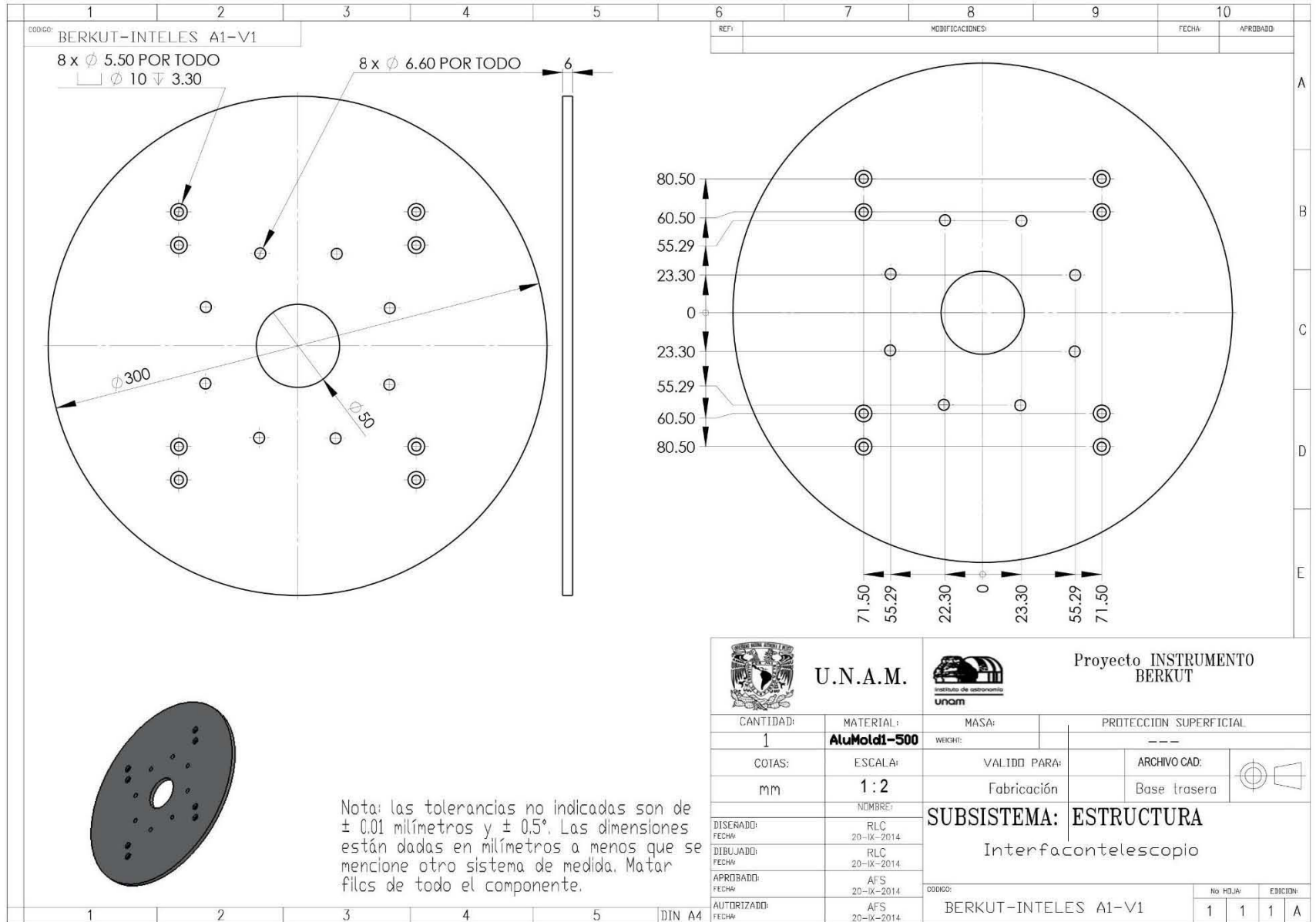
REF:	MODIFICACIONES:	FECHA:	APROBADO:
------	-----------------	--------	-----------



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filcs de todo el componente.

	<b>U.N.A.M.</b>		Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL	
1	<b>AluMold1-500</b>	WEIGH:	---	
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:	
mm	1:2	Fabricación	Base delantera	
NOMBRE:		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b>		
DISEÑADO: FECHA:		Interfaconcámara		
DIBUJADO: FECHA:				
APROBADO: FECHA:				
AUTORIZADO: FECHA:				
CODIGO: BERKUT-INCAM-V1			No HOJA:	EBICION:
			1 1	1 A

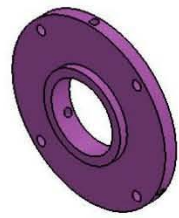
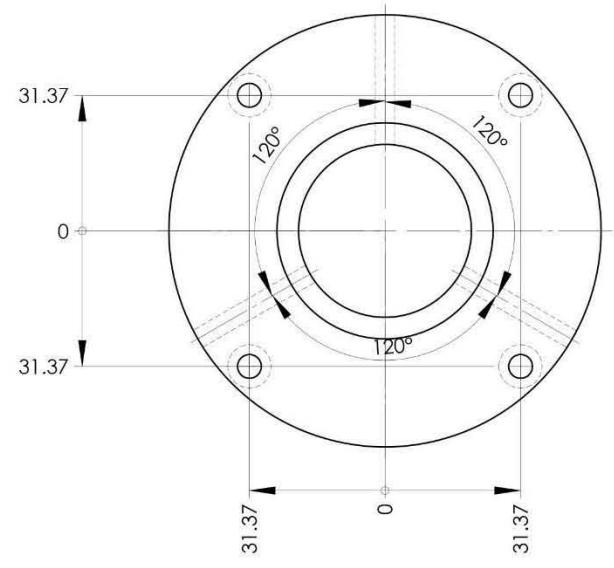
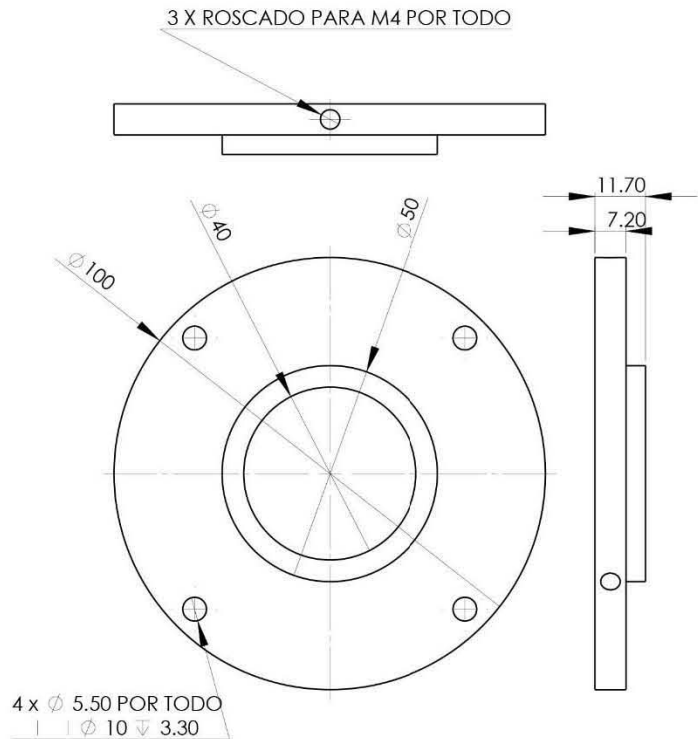
DIN A4



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL		
1	AluMold1-500	WEIGH:	---		
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:		
mm	1:2	Fabricación	Base trasera		
NOMBRE:		SUBSISTEMA: ESTRUCTURA			
DISEÑADO: FECHA:		Interfacontelescopio			
DIBUJADO: FECHA:					
APROBADO: FECHA:					
AUTORIZADO: FECHA:					
		CODIGO:		No HOJA	
		BERKUT-INTELES A1-V1		EDICION:	
				1 1 1 A	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-MORUF-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar fillos de todo el componente.

				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL		
1	AluMold1-500	WEIGHT:	---		
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:		
mm	1:1	Fabricación	Soporte lente 1		
DISEÑADO: FECHA: RLC 20-IX-2014		NOMBRE: SUBSISTEMA: ÓPTICA		Monturaruedadefiltros	
DIBUJADO: FECHA: RLC 20-IX-2014		CODIGO: BERKUT-MORUF-V1		No HOJA: 1 EDICION: 1	
APROBADO: FECHA: AFS 20-IX-2014					
AUTORIZADO: FECHA: AFS 20-IX-2014					

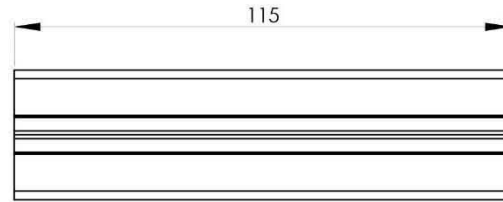
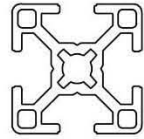
1	2	3	4	5	DIN A4					
---	---	---	---	---	--------	--	--	--	--	--

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-PERF30X30X180MMV1-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:
					<p>Nota: las tolerancias no indicadas son de <math>\pm 0.01</math> milímetros y <math>\pm 0.5^\circ</math>. Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar fillos de todo el componente.</p>					
1	2	3	4	5	DIN A4					

				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL		
4	AI6063-T5	WEIGHT:	---		
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:		
mm	1:1	Fabricación	30X30X180MMV1		
NOMBRE:		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b>			
DISEÑADO: FECHA:		Perfil de aluminio SMC 30X30X180MMV1			
DIBUJADO: FECHA:					
APROBADO: FECHA:					
AUTORIZADO: FECHA:		CODIGO: BERKUT-PERF30X30X180MMV1-V1		No HOJA:	EBICION:
				1	1
				1	A




1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-PERF30X30X115MMH1-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:

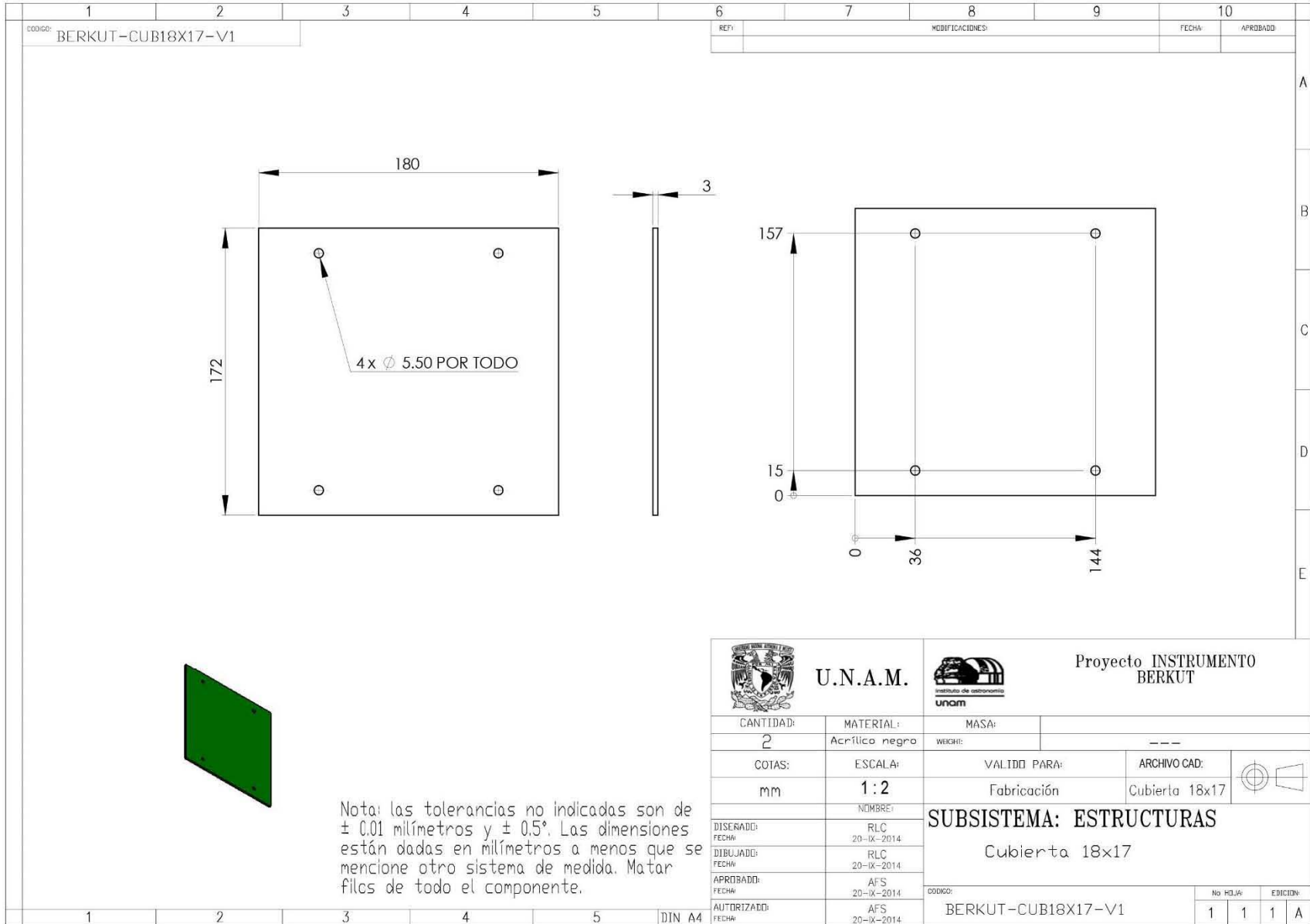


A  
B  
C  
D  
E

Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filcs de todo el componente.

 <b>U.N.A.M.</b>		 <b>Proyecto INSTRUMENTO BERKUT</b>	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL:
2	AI6063-T5	WEIGH:	---
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:
mm	1:1	Fabricación	Perfil 30X115MM H1 
NOMBRE: <b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b>		Perfil de aluminio MCS 30X115MM H1	
DISEÑADO: FECHA:	RLC 20-IX-2014	CODIGO: BERKUT-PERF30X30X115MMH1-V1	
DIBUJADO: FECHA:	RLC 20-IX-2014		
APROBADO: FECHA:	AFS 20-IX-2014	No HOJA: 1 1 1 A	
AUTORIZADO: FECHA:	AFS 20-IX-2014	EBICION:	

1	2	3	4	5	DIN A4
---	---	---	---	---	--------

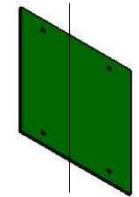
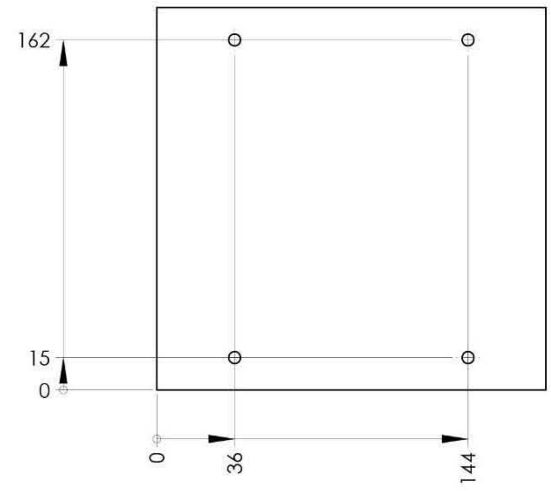
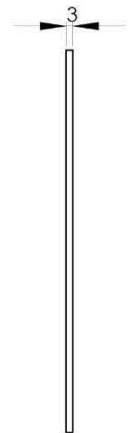
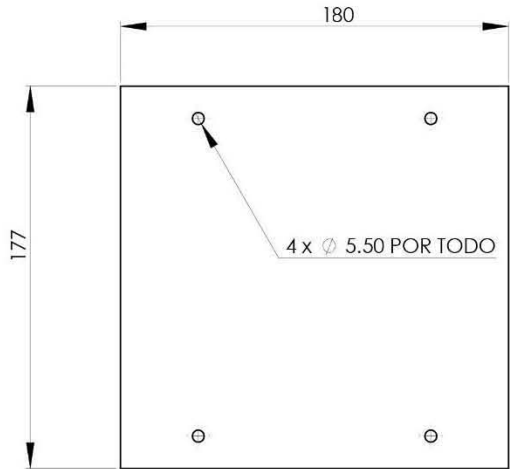


Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-CUB18X17-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:

				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:			
2	Acrílico negro	WEIGH:	---		
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:		
mm	1:2	Fabricación	Cubierta 18x17		
DISEÑADO: RLC FECHA: 20-IX-2014		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURAS</b> Cubierta 18x17			
DIBUJADO: RLC FECHA: 20-IX-2014					
APROBADO: AFS FECHA: 20-IX-2014		CODIGO: BERKUT-CUB18X17-V1		No HOJA:	EBICION:
AUTORIZADO: AFS FECHA: 20-IX-2014				1	1 1 A

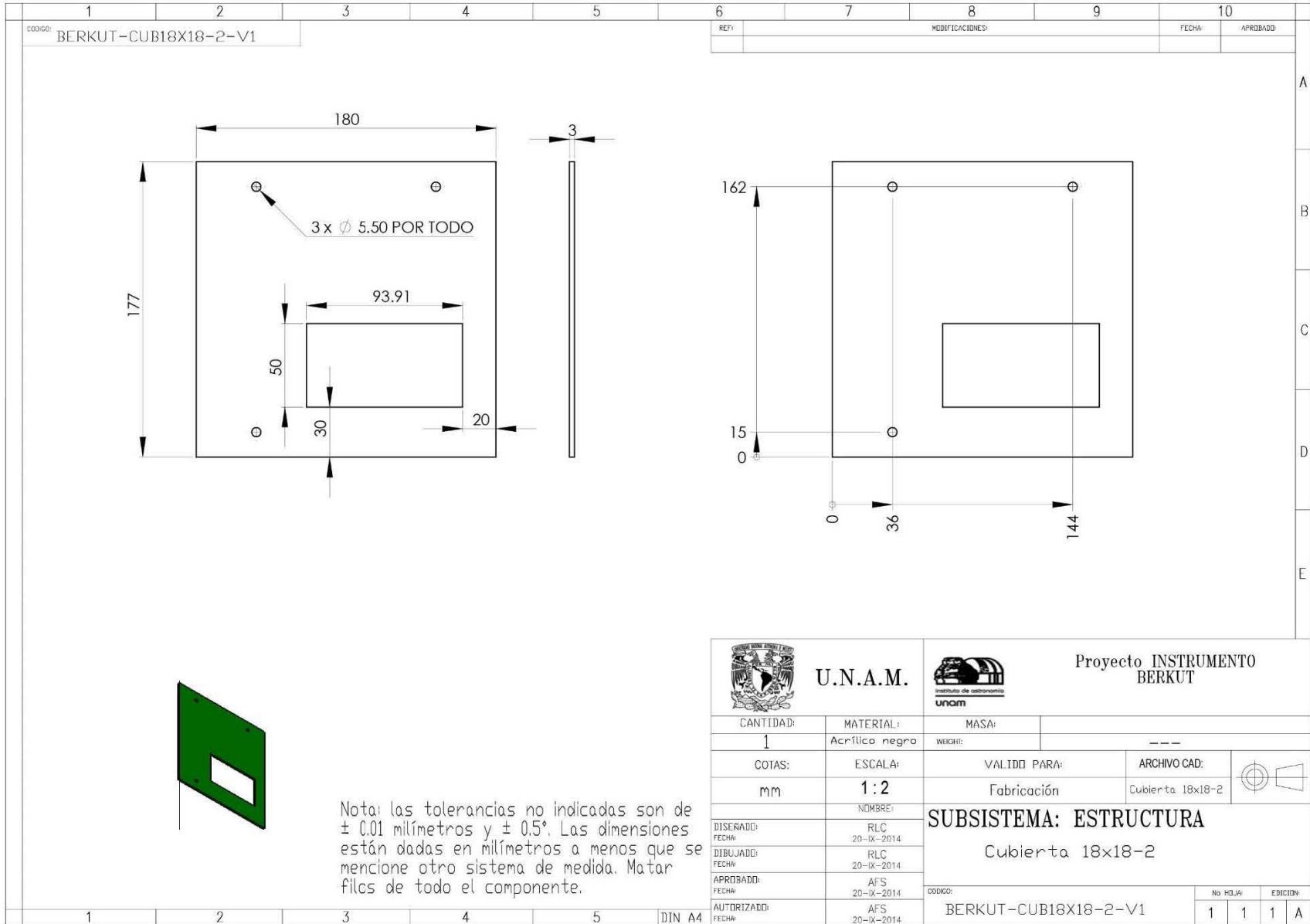
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-CUB18X18-1-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

 <b>U.N.A.M.</b>		 <b>Proyecto INSTRUMENTO BERKUT</b>					
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:					
1	Acrílico negro	WEIGH:	---				
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:				
mm	1:2	Fabricación	Cubierta 18x17-1				
DISEÑADO: FECHA: RLC 20-IX-2014		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b> Cubierta 18x18-1					
DIBUJADO: FECHA: RLC 20-IX-2014							
APROBADO: FECHA: AFS 20-IX-2014		CODIGO: BERKUT-CUB18X18-1-V1					
AUTORIZADO: FECHA: AFS 20-IX-2014		<table border="1"> <tr> <th>No HOJA</th> <th>EBICION</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>		No HOJA	EBICION	1	1
No HOJA	EBICION						
1	1						

1	2	3	4	5	DIN A4
---	---	---	---	---	--------



CODIGO: BERKUT-CUB18X18-2-V1

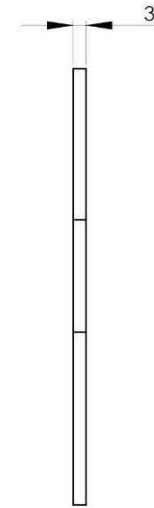
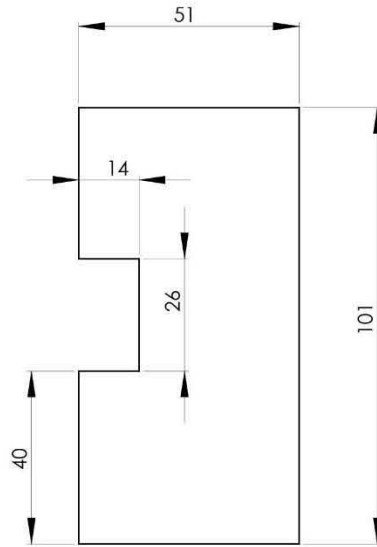
6	7	8	9	10
REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:
				APROBADO:



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:			
1	Acrílico negro	WEIGH:	---		
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:		
mm	1:2	Fabricación	Cubierta. 18x18-2		
DISEÑADO: RLC FECHA: 20-IX-2014		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b> Cubierta 18x18-2			
DIBUJADO: RLC FECHA: 20-IX-2014					
APROBADO: AFS FECHA: 20-IX-2014		CODIGO: BERKUT-CUB18X18-2-V1		No HOJA:	EBICION:
AUTORIZADO: AFS FECHA: 20-IX-2014				1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CODIGO: BERKUT-CUB18X18-3-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:



Nota: las tolerancias no indicadas son de  $\pm 0.01$  milímetros y  $\pm 0.5^\circ$ . Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filas de todo el componente.

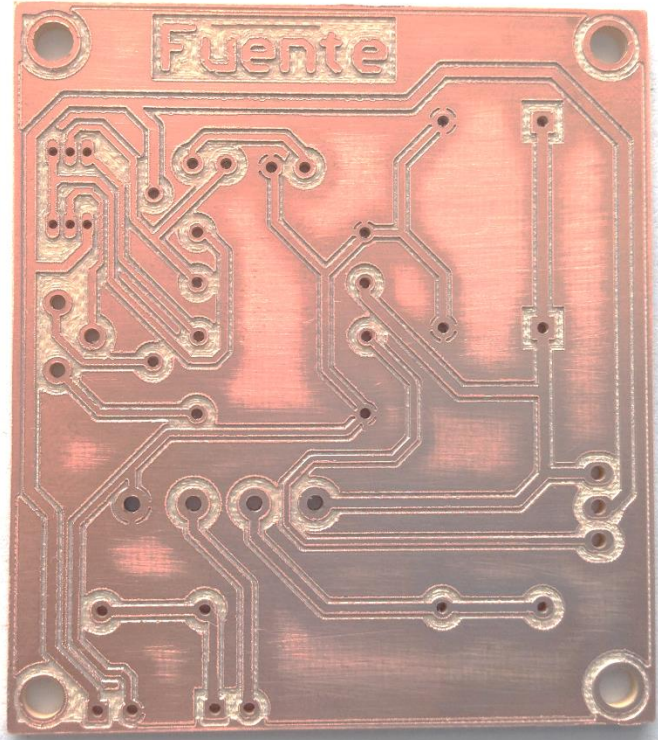
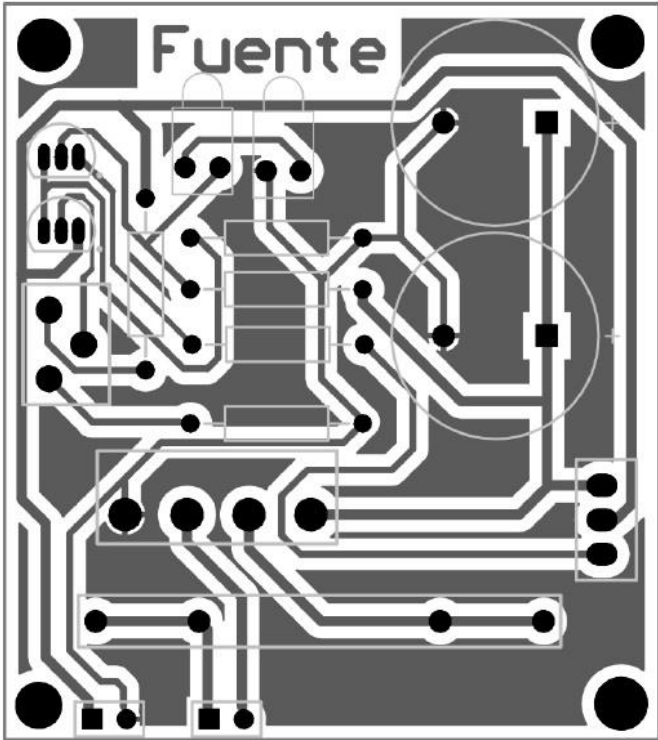
 <b>U.N.A.M.</b>		 <b>Proyecto INSTRUMENTO BERKUT</b>	
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:	PROTECCION SUPERFICIAL:
1	Acrílico negro	WEIGH:	---
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:
mm	1:1	Fabricación	Cubierta. 18x18-3
NOMBRE: DISEÑADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 DIBUJADO: RLC FECHA: 20-IX-2014 APROBADO: AFS FECHA: 20-IX-2014 AUTORIZADO: AFS FECHA: 20-IX-2014		<b>SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</b> Cubierta 18x18-3	
CODIGO: BERKUT-CUB18X18-3-V1			No HOJA: 1 EBICION: 1

1	2	3	4	5	DIN A4
---	---	---	---	---	--------

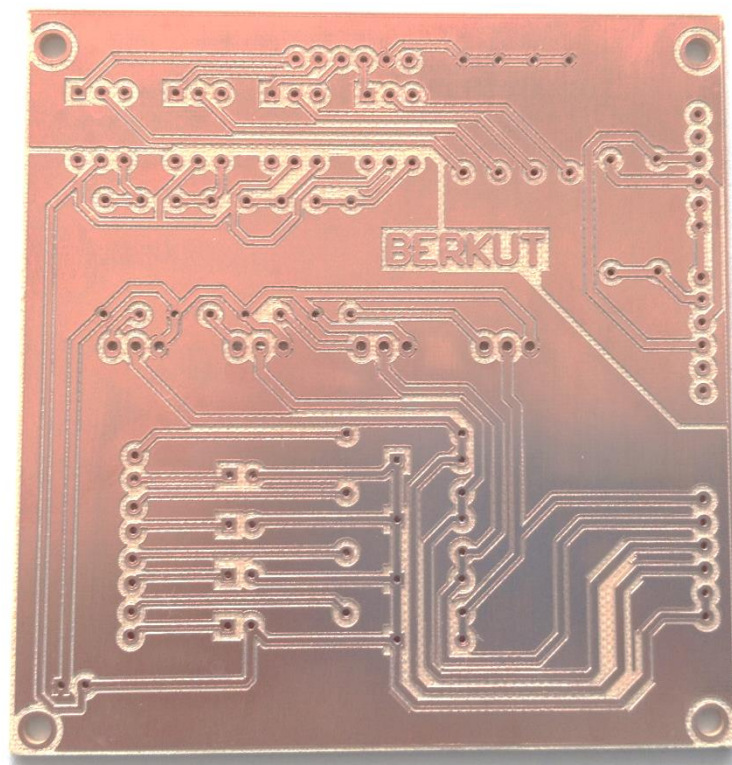
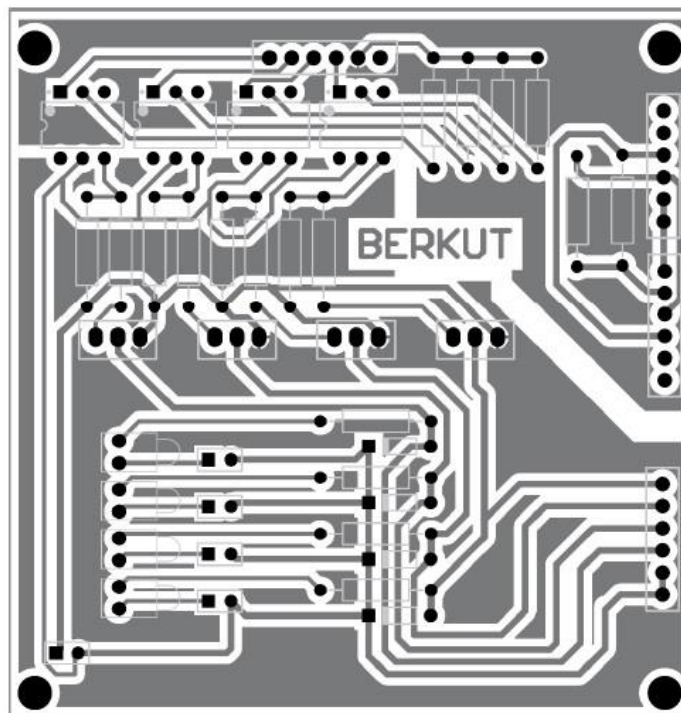
A  
B  
C  
D  
E

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																					
CODIGO: BERKUT-CUB18X18-4-V1					REF:	MODIFICACIONES:			FECHA:	APROBADO:																																																																																				
										A																																																																																				
										B																																																																																				
										C																																																																																				
										D																																																																																				
										E																																																																																				
<p>Nota: las tolerancias no indicadas son de <math>\pm 0.01</math> milímetros y <math>\pm 0.5^\circ</math>. Las dimensiones están dadas en milímetros a menos que se mencione otro sistema de medida. Matar filcos de todo el componente.</p>					<table border="1"> <tr> <td colspan="2"> </td> <td colspan="2"> </td> <td colspan="2">                 Proyecto INSTRUMENTO BERKUT             </td> </tr> <tr> <td>CANTIDAD:</td> <td>MATERIAL:</td> <td>MASA:</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Acrílico negro</td> <td>WEIGH:</td> <td colspan="3">---</td> </tr> <tr> <td>COTAS:</td> <td>ESCALA:</td> <td>VALIDO PARA:</td> <td colspan="3">ARCHIVO CAD:</td> </tr> <tr> <td>mm</td> <td>1:1</td> <td>Fabricación</td> <td colspan="3">Cubierta. 18x18-4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE:</td> <td colspan="4">SUBSISTEMA: ESTRUCTURA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DISEÑADO: FECHA:</td> <td colspan="2">RLC 20-IX-2014</td> <td colspan="2">Cubierta 18x18-4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DIBUJADO: FECHA:</td> <td colspan="2">RLC 20-IX-2014</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">APROBADO: FECHA:</td> <td colspan="2">AFS 20-IX-2014</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">AUTORIZADO: FECHA:</td> <td colspan="2">AFS 20-IX-2014</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">CODIGO:</td> <td colspan="2">No HOJA:</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">BERKUT-CUB18X18-4-V1</td> <td colspan="2">1 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">EBICION:</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">1 1 A</td> </tr> </table>									Proyecto INSTRUMENTO BERKUT		CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:				1	Acrílico negro	WEIGH:	---			COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:			mm	1:1	Fabricación	Cubierta. 18x18-4			NOMBRE:		SUBSISTEMA: ESTRUCTURA				DISEÑADO: FECHA:		RLC 20-IX-2014		Cubierta 18x18-4		DIBUJADO: FECHA:		RLC 20-IX-2014				APROBADO: FECHA:		AFS 20-IX-2014				AUTORIZADO: FECHA:		AFS 20-IX-2014						CODIGO:		No HOJA:				BERKUT-CUB18X18-4-V1		1 1						EBICION:						1 1 A		
				Proyecto INSTRUMENTO BERKUT																																																																																										
CANTIDAD:	MATERIAL:	MASA:																																																																																												
1	Acrílico negro	WEIGH:	---																																																																																											
COTAS:	ESCALA:	VALIDO PARA:	ARCHIVO CAD:																																																																																											
mm	1:1	Fabricación	Cubierta. 18x18-4																																																																																											
NOMBRE:		SUBSISTEMA: ESTRUCTURA																																																																																												
DISEÑADO: FECHA:		RLC 20-IX-2014		Cubierta 18x18-4																																																																																										
DIBUJADO: FECHA:		RLC 20-IX-2014																																																																																												
APROBADO: FECHA:		AFS 20-IX-2014																																																																																												
AUTORIZADO: FECHA:		AFS 20-IX-2014																																																																																												
		CODIGO:		No HOJA:																																																																																										
		BERKUT-CUB18X18-4-V1		1 1																																																																																										
				EBICION:																																																																																										
				1 1 A																																																																																										
1	2	3	4	5	DIN A4																																																																																									

*Anexo B. Circuitos electrónicos impresos (PCB).*



*PCB Fuente de poder.*



*PCB Controlador de motor.*

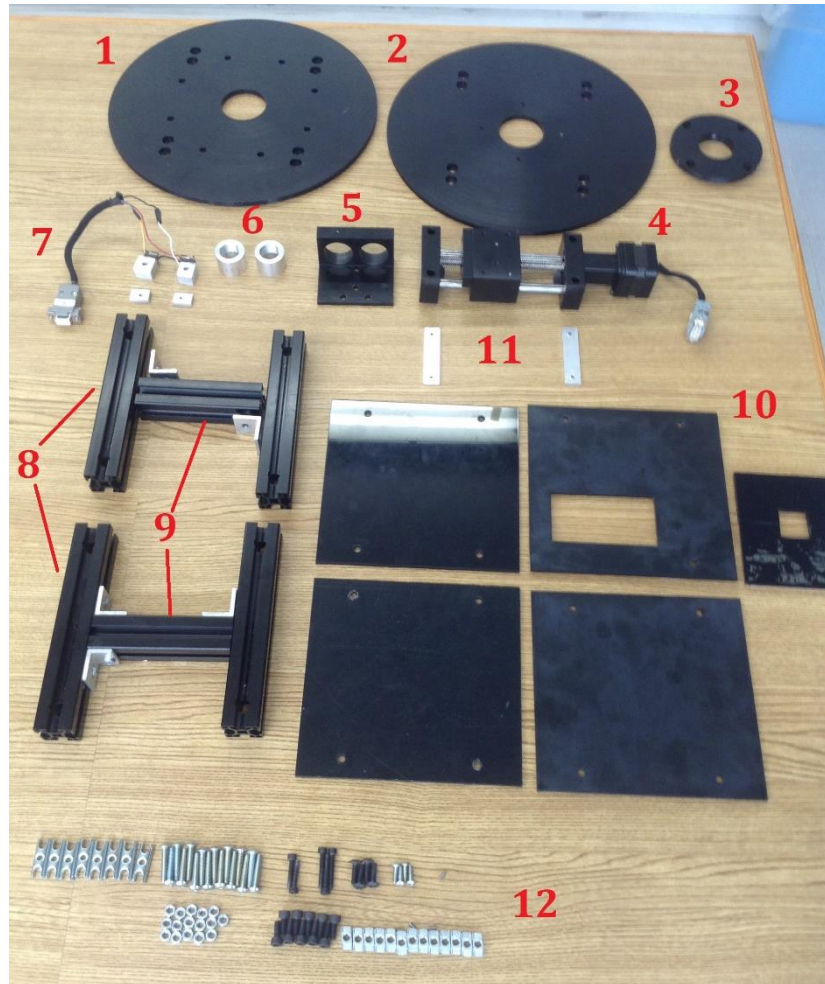


## Anexo C. Costo aproximado de Berkut.

Grupo	Elemento	Precio [USD]	Cantidad	Total [USD]
Mecánica	Placa de aluminio 7075 305x305x6.4 mm	7.7	2	15.4
	Placa de aluminio 7075 105x105x6.4 mm	4	1	4
	Pieza de aluminio 7075 65x85x50.8 mm	6	1	6
	Perfil de aluminio 6063 – T5 30x30x180 mm	4	4	16
	Perfil de aluminio 6063 – T5 30x30x150 mm	4	2	8
	Placa de acrílico 500x500x3 mm	6	1	6
	Tornillería	15	1	15
Electrónica	Transformador 127 VAC / 12 VDC 3 A con tap central	12.5	1	12.5
	Preset 1 kOhm	0.4	5	2
	Transistor de potencia TIP 125	0.6	1	0.6
	Transistor de potencia TIP 120	0.6	4	2.4
	Transistor BC547	0.2	2	0.4
	Capacitor electrolítico 2200 uF	0.6	2	1.2
	Diodo rectificador RL203	0.2	4	0.8
	Puente rectificador 4 A KBL04	0.8	1	0.8
	LED color rojo	0.07	6	0.42
	Tarjeta fenólica	1	2	2
	Conectores monex	7.7	1	7.7
Control	Computadora	620	1	620
	Tarjeta de desarrollo Nexys 3	270	1	270
	Cables de conexión (varios tipos)	15	1	15
Elementos comerciales	Rueda de filtros	2795	1	2795
	Plataforma de desplazamiento lineal	630	1	630
	Lentes objetivos ópticos	Depende de resolución		
	Cámara CCD	Depende de resolución		
<b>Total</b>				<b>4431.22</b>

## *Anexo D. Manual de ensamble de la estructura mecánica de Berkut.*

1. Identificar cada uno de los elementos a emplear para el ensablado del instrumento Berkut



<b>Elemento</b>	<b>Nombre</b>
1	Interfaz con telescopio
2	Interfaz con cámara
3	Montura rueda de filtros
4	Plataforma de desplazamiento lineal
5	Soporte lente objetivos
6	Porta objetivos
7	Interruptores de presencia
8	Barras
9	Travesaños
10	Cubiertas
11	Guías auxiliares de plataforma
12	Elementos de sujeción.

Tornillería	
Tipo	Cantidad
T. C. Plana M5X25	16
T. C. Plana M5X20	2
T. C. Plana M5X15	4
T. C. Plana M5X12	23
T. C. Plana M5X25	4
T. C. Plana M5X12	4
Prisioneros M3X6	4
Tuerca hexagonal M5	16
Guarda tornillo M5	8
Tuercas cabeza de martillo M5	23

2. Contar con todas las herramientas necesarias para el ensamble.

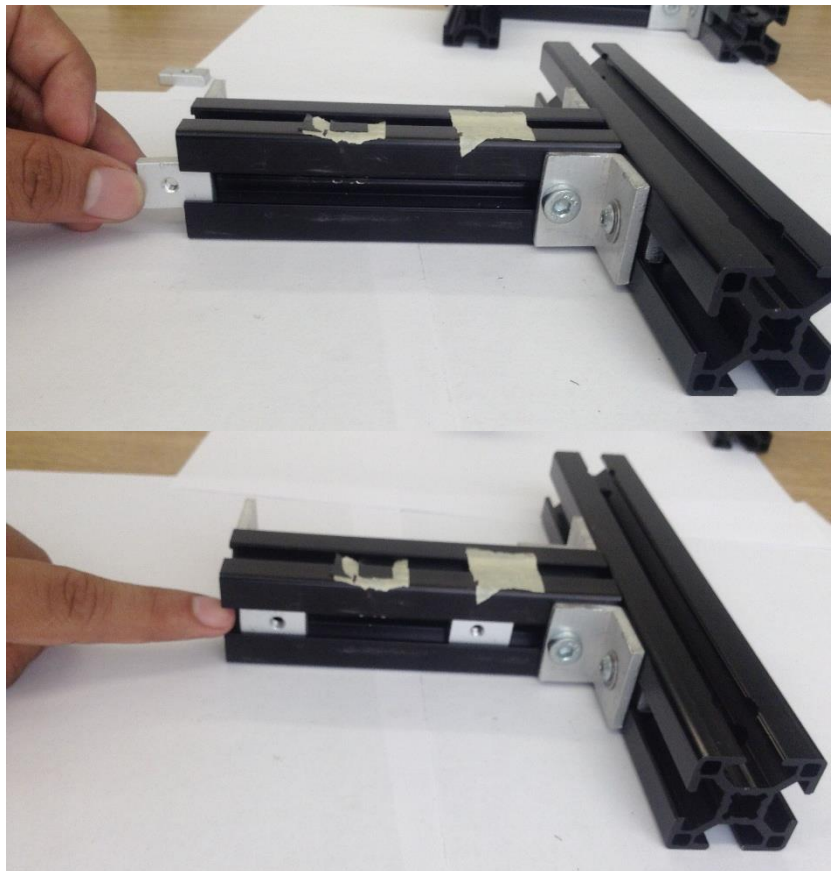
<b>Herramienta</b>	<b>Medida</b>
Desarmador de caja	5/16 in
Desarmador punta de estrella	T6
Desarmador plano	1/8 in X 2in
Llave tipo Allen	1/8 in
Llave tipo Allen	3/32 in
Llave tipo Allen	5/32 in

3. Comenzar el ensamble, uniendo las barras y los travesaños como se muestra en la Figura para formar los soportes, con la ayuda de los tornillos M5x12, tuercas cabeza de martillo y unos pequeños ángulos de aluminio. Colocar la base del travesaño a 7 cm de la punta de la barra como lo muestra la figura.

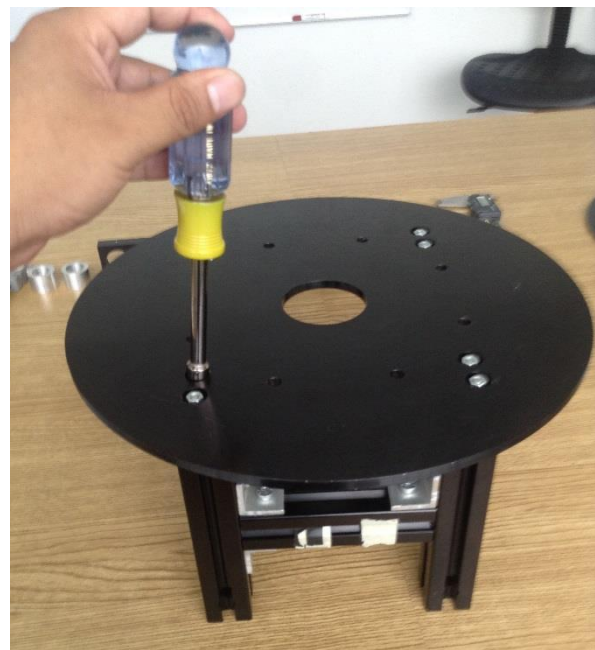
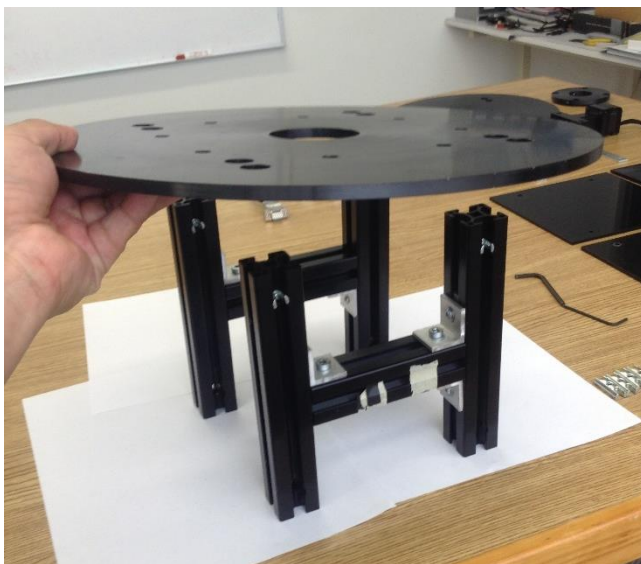
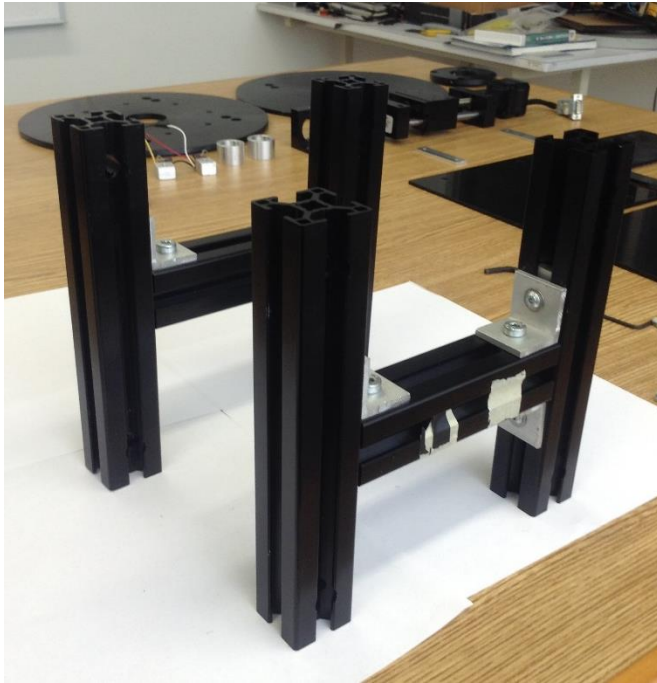




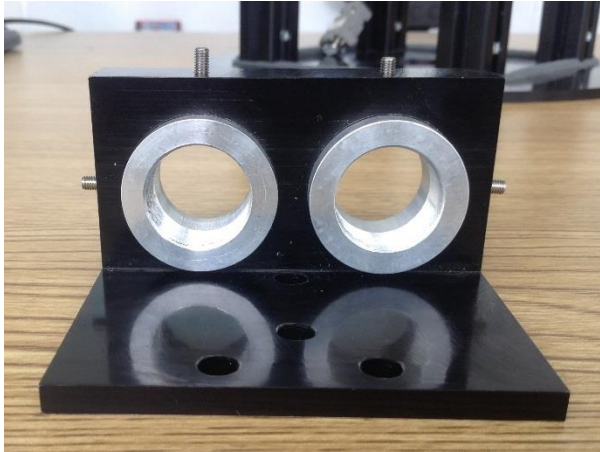
4. Antes de terminar de armar el segundo soporte, se deben colocar las guías donde se montaran los interruptores de presencia.



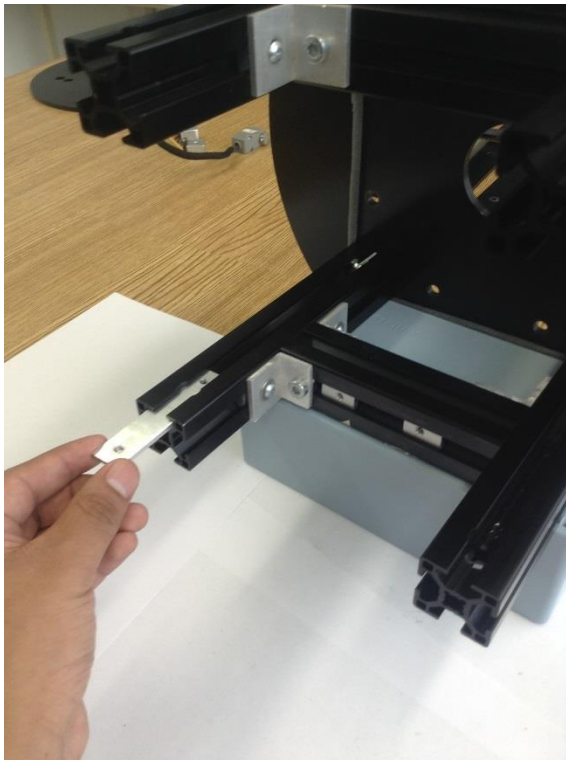
5. Ya que se tiene armados los dos soportes, introducir los guarda pernos, y realizar el ensamble de la interfaz de conexión al telescopio con ayuda de los tornillos M5x25 y las tuercas hexagonales M5.



6. Por separado, montar los elementos correspondientes en la plataforma de desplazamiento lineal. Comenzando por sujetar los portaobjetivos en el soporte lente con ayuda de los prisioneros M3x6. Después colocar el soporte lente en la plataforma de desplazamiento mediante los tornillos M4x12.



7. Introducir guías para el montaje de la plataforma de desplazamiento lineal.

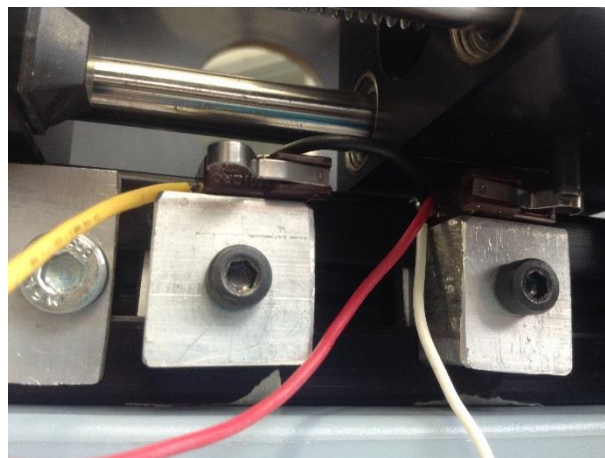
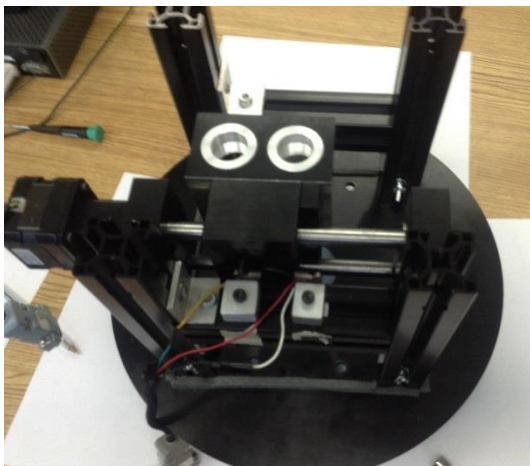


8. Antes de montar la plataforma se deben colocar los interruptores de presencia en sus posiciones adecuadas. (en realidad solo será una

aproximación ya que el lugar correcto se determinara cuando se lleve a cabo la calibración)

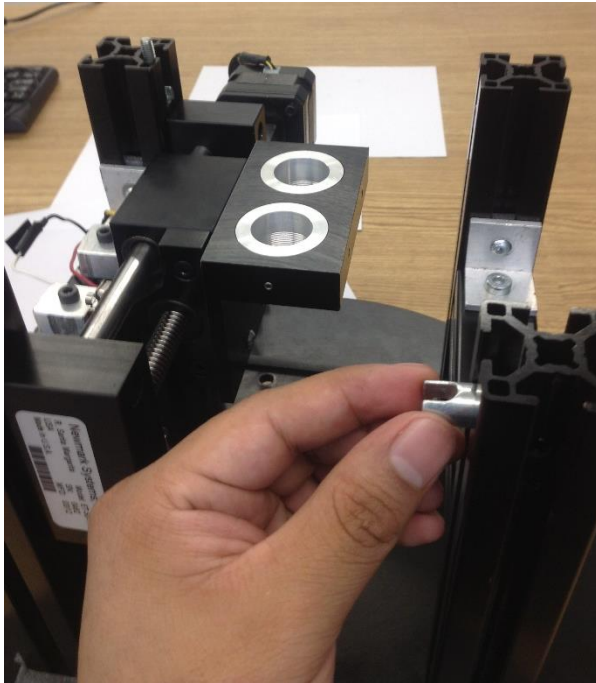


9. Montar la plataforma de desplazamiento lineal con los tornillos M4x25 procurando que la extensión que acciona los interruptores se encuentre en una posición adecuada tal que no los accione con anterioridad ni que se atasque con ellos.





10 Colocar la interfaz de conexión con la cámara con los guarda pernos, tornillos M5x25 y tuercas hexagonales M5.



11 Colocar la montura para rueda de filtros con tornillos M5x15.



12 Finalmente cubrir la estructura con las cubiertas de acrílico, tornillos M5x12 y tuercas con cabeza de martillo



# Anexo E. Características de Material.

## Aluminum 7075-T6; 7075-T651

**Categories:** [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Aluminum Alloy](#); [7000 Series Aluminum Alloy](#)

**Material** General 7075 characteristics and uses (from Alcoa): Very high strength material used for highly stressed structural parts. The T7351 temper offers improved stress-corrosion cracking resistance.

**Notes:**

**Applications:** Aircraft fittings, gears and shafts, fuse parts, meter shafts and gears, missile parts, regulating valve parts, worm gears, keys, aircraft, aerospace and defense applications; bike frames, all terrain vehicle (ATV) sprockets.

Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

### Composition Notes:

A Zr + Ti limit of 0.25 percent maximum may be used with this alloy designation for extruded and forged products only, but only when the supplier or producer and the purchaser have mutually so agreed. Agreement may be indicated, for example, by reference to a standard, by letter, by order note, or other means which allow the Zr + Ti limit.

Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

**Key Words:** Aluminium 7075-T6; Aluminium 7075-T651, UNS A97075; ISO AlZn5.5MgCu; Aluminium 7075-T6; Aluminium 7075-T651; AA7075-T6

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.81 g/cc	0.102 lb/in <sup>3</sup>	AA; Typical
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	150	150	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Hardness, Knoop	191	191	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell A	53.5	53.5	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell B	87	87	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Vickers	175	175	Converted from Brinell Hardness Value
Tensile Strength, Ultimate	572 MPa	83000 psi	AA; Typical
	41.0 MPa	5950 psi	
	@Temperature 371 °C	@Temperature 700 °F	
	55.0 MPa	7980 psi	
	@Temperature 316 °C	@Temperature 601 °F	
	76.0 MPa	11000 psi	
	@Temperature 260 °C	@Temperature 500 °F	
	110 MPa	16000 psi	
	@Temperature 204 °C	@Temperature 399 °F	
	214 MPa	31000 psi	
	@Temperature 149 °C	@Temperature 300 °F	
	483 MPa	70100 psi	
	@Temperature 100 °C	@Temperature 212 °F	
	572 MPa	83000 psi	
	@Temperature 24.0 °C	@Temperature 75.2 °F	
	593 MPa	86000 psi	
	@Temperature -28.0 °C	@Temperature -18.4 °F	
	621 MPa	90100 psi	
	@Temperature -80.0 °C	@Temperature -112 °F	
	703 MPa	102000 psi	
	@Temperature -196 °C	@Temperature -321 °F	
	>= 462 MPa	>= 67000 psi	Plate; T62, T651
	@Thickness 88.93 - 102 mm	@Thickness 3.501 - 4.00 in	
	>= 490 MPa	>= 71100 psi	Plate; T62, T651
	@Thickness 76.23 - 88.9 mm	@Thickness 3.001 - 3.50 in	
	>= 496 MPa	>= 71900 psi	Plate; T62, T651
	@Thickness 63.53 - 76.2 mm	@Thickness 2.501 - 3.00 in	
	>= 510 MPa	>= 74000 psi	Sheet
	@Thickness 0.203 - 0.279 mm	@Thickness 0.00800 - 0.0110 in	
	>= 524 MPa	>= 76000 psi	Sheet
	@Thickness 0.305 - 0.991 mm	@Thickness 0.0120 - 0.0390 in	

Tensile Strength, Yield



>= 524 MPa  
@Thickness 50.83 - 63.5 mm  
>= 531 MPa  
@Thickness 25.43 - 50.8 mm  
>= 538 MPa  
@Thickness 1.02 - 3.17 mm  
>= 538 MPa  
@Thickness 3.20 - 6.32 mm  
>= 538 MPa  
@Thickness 6.35 - 12.7 mm  
>= 538 MPa  
@Thickness 12.7 - 25.4 mm  
503 MPa

>= 76000 psi  
@Thickness 2.001 - 2.50 in  
>= 77000 psi  
@Thickness 1.001 - 2.00 in  
>= 78000 psi  
@Thickness 0.0400 - 0.125 in  
>= 78000 psi  
@Thickness 0.126 - 0.249 in  
>= 78000 psi  
@Thickness 0.250 - 0.499 in  
>= 78000 psi  
@Thickness 0.500 - 1.00 in  
73000 psi

Plate; T62, T651  
Plate; T62, T651  
Sheet  
Sheet  
Plate; T62, T651  
Plate; T62, T651  
AA; Typical

32.0 MPa  
@Temperature 271 °C  
45.0 MPa  
@Temperature 316 °C  
62.0 MPa  
@Temperature 260 °C  
87.0 MPa  
@Temperature 204 °C  
186 MPa  
@Temperature 149 °C  
448 MPa  
@Temperature 100 °C  
503 MPa  
@Temperature 24.0 °C  
517 MPa  
@Temperature -28.0 °C  
545 MPa  
@Temperature -80.0 °C  
634 MPa  
@Temperature -196 °C  
>= 372 MPa  
@Thickness 88.93 - 102 mm  
>= 400 MPa  
@Thickness 76.23 - 88.9 mm  
>= 421 MPa  
@Thickness 63.53 - 76.2 mm  
>= 434 MPa  
@Thickness 0.203 - 0.279 mm  
>= 441 MPa  
@Thickness 50.83 - 63.5 mm  
>= 462 MPa  
@Thickness 0.305 - 0.991 mm  
>= 462 MPa  
@Thickness 6.35 - 12.7 mm  
>= 462 MPa  
@Thickness 25.43 - 50.8 mm  
>= 469 MPa  
@Thickness 1.02 - 3.17 mm  
>= 469 MPa  
@Thickness 12.7 - 25.4 mm  
>= 476 MPa  
@Thickness 3.20 - 6.32 mm

4640 psi  
@Temperature 520 °F  
6530 psi  
@Temperature 601 °F  
8990 psi  
@Temperature 500 °F  
12600 psi  
@Temperature 399 °F  
27000 psi  
@Temperature 300 °F  
65000 psi  
@Temperature 212 °F  
73000 psi  
@Temperature 75.2 °F  
75000 psi  
@Temperature -18.4 °F  
79000 psi  
@Temperature -112 °F  
92000 psi  
@Temperature -321 °F  
>= 54000 psi  
@Thickness 3.501 - 4.00 in  
>= 58000 psi  
@Thickness 3.001 - 3.50 in  
>= 61100 psi  
@Thickness 2.501 - 3.00 in  
>= 62900 psi  
@Thickness 0.00800 - 0.0110 in  
>= 64000 psi  
@Thickness 2.001 - 2.50 in  
>= 67000 psi  
@Thickness 0.0120 - 0.0390 in  
>= 67000 psi  
@Thickness 0.250 - 0.499 in  
>= 67000 psi  
@Thickness 1.001 - 2.00 in  
>= 68000 psi  
@Thickness 0.0400 - 0.125 in  
>= 68000 psi  
@Thickness 0.500 - 1.00 in  
>= 69000 psi  
@Thickness 0.126 - 0.249 in

0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
0.2% Offset  
Plate; T62, T651  
Plate; T62, T651  
Plate; T62, T651  
Sheet  
Plate; T62, T651  
Sheet  
Plate; T62, T651  
Plate; T62, T651  
Sheet  
Plate; T62, T651  
Sheet

Elongation at Break



9.00 %  
@Temperature -196 °C  
11.0 %  
@Temperature -80.0 °C  
11.0 %  
@Temperature -28.0 °C  
11.0 %  
@Temperature 24.0 °C  
14.0 %  
@Temperature 100 °C  
30.0 %  
@Temperature 149 °C  
55.0 %  
@Temperature 204 °C  
65.0 %  
@Temperature 260 °C  
70.0 %

9.00 %  
@Temperature -321 °F  
11.0 %  
@Temperature -112 °F  
11.0 %  
@Temperature -18.4 °F  
11.0 %  
@Temperature 75.2 °F  
14.0 %  
@Temperature 212 °F  
30.0 %  
@Temperature 300 °F  
55.0 %  
@Temperature 399 °F  
65.0 %  
@Temperature 500 °F  
70.0 %

# *Anexo F. Artículo para el congreso Astronomical Telescopes + Instrumentation, Montreal, Quebec, Canadá.*

## **Reverse and concurrent engineering applied of a high resolution equipment Berkut for 1-meter class telescopes**

R. López<sup>\*a</sup>, R. Granados<sup>a</sup>, A. Farah<sup>\*b</sup>

<sup>a</sup>División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cto. Int. S/N, Cd. Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, México D.F.

<sup>b</sup>Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Cto. Exterior S/N, Cd. Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, México D. F.

### **ABSTRACT**

Several factors make observational astronomy difficult for astronomers; one of them is the atmosphere<sup>1</sup>. The light that a star emits is refracted when it goes through the earth's atmosphere; the result of this is that the image of a punctual star is not what the physics would lead us to expect. At the Instituto de Astronomía of the Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) an instrument has been developed called "Berkut", which uses a high resolution technique to improve these effects and obtain interesting and valuable scientific studies.

In this paper we present the mechanical reengineering and acceptance test of Berkut. This instrument was design for taking images of high resolution. Essentially, it is composed by a set basic optics which is aligned and in focus with a 1-meter class telescope. It has its own electronic components for controlling remotely a filter wheel; that allows the exchange of the filters according to the requirements of the observer, a couple of objectives mounted in a translation stage, and a CCD camera for acquiring several images per second that are used in the speckle interferometry technique. A project like Berkut needs to be multidisciplinary; astronomy, engineering, optics, mechanics, electronics, and image processing are some of the areas of knowledge used.

Berkut will be used in the telescope of the Observatorio Astronomico Nacional in Tonantzintla, located in the state of Puebla, Mexico, but it can be used in any telescope 1 meter class. It is pretended to build another Berkuts for being used simultaneously in different telescopes, so it is important to keep the costs as low as possible. With this instrument we pretend to confirm the Hipparcos catalogue of binary stars besides finding exoplanets.

**Keywords:** Speckle interferometer, reverse and concurrent engineering, 1-meter class telescopes, high resolution.

### **1. INTRODUCTION**

In astronomical observations there are two main trends. The first one is a construction of large telescopes with sensitive picture sensors which allow further exploration of the Universe. The other trend consists on systems that perform observation of large areas of the sky with high resolution in time. They are used for objects which rapidly change their position or intensity. They are often quite bright thus the sensitivity of such measurement systems is not so critical. Because of the huge amount of data from detector the analysis must be performed on-line. This way, there is a large reduction of data that are archived and processed later<sup>2</sup>. Berkut uses the second trend and the high resolution technique to improve the effects of the atmosphere and obtain interesting and valuable scientific studies.

Dragon<sup>3</sup> and Tohtli<sup>4</sup> have been two proposals that were developed at the Instituto de Astronomía for the application of speckle interferometry. They have served as background for the development of Berkut instrument. Basically Dragon and Tohtli had as main objective the same as Berkut however; they only focused on the mechanical part, i.e. the alignment of the optics and mechanical support. That is why, in this time is necessary to include the semi-automation of optical systems, the support for the filters wheel and the CCD camera. Berkut is a redesigning project based on these backgrounds to include the new requirements, without affecting the original features and including new possibilities. These reasons and experiences approached us to do reverse engineering, reengineering, and concurrent engineering.

\*iee.roglop@gmail.com; farah@astro.unam.mx.

Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V, edited by  
Suzanne K. Ramsay, Ian S. McLean, Hideki Takami, Proc. of SPIE Vol. 9147,  
91473T · © 2014 SPIE · CCC code: 0277-786X/14/\$18 · doi: 10.1117/12.2057005

Proc. of SPIE Vol. 9147 91473T-1

ed From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 08/21/2014 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/terms>

## 2. REQUIREMENTS DESIGN

### 2.1 Mechanics

A great advance in the study of binary stars started with the publication of Labeyrie (1970) where the speckle interferometry technique was presented. This technique allows reaching diffraction limited resolution using special methods for the reduction of the short exposure images<sup>5</sup>. The main goal is to remove the influence of the atmosphere from the observed data. The data reduction can be performed in two ways: either with the correlation methods or by Fourier analysis. The choice of the reduction method depends on the star separation, observational conditions and instrument's characteristics. By using the principle of high resolution is necessary the use of different lenses, filters and a CCD camera for image acquisition. In figure 1 a diagrammatic representation of the design which is based Berkut is shown.

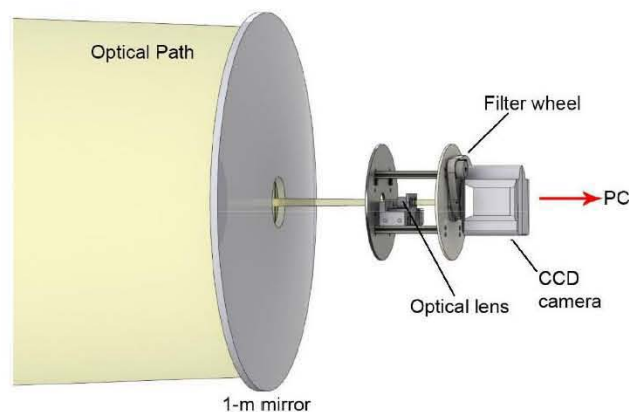


Figure 1. The optical scheme of the high resolution Equipment.

Given these elements and considering the lenses, filters and CCD camera as those who are inherently linked together to carry out the capture of images, it is necessary to know the dimensions and weights of each one to design the structure support to accommodate them. Figure 2 shows the original parts to be used in this new design. Additionally, in this instrument we need to be able of changing cameras and also it has to be compatible with any 1- meter class telescope flanges.

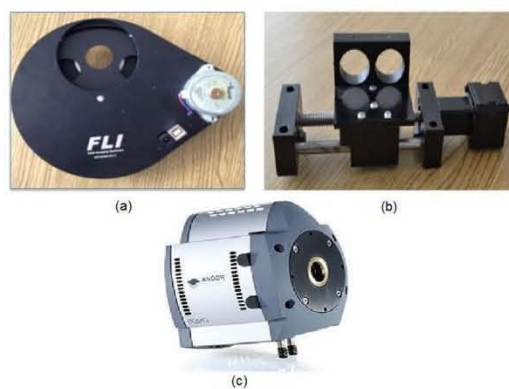


Figure 2. Items to be used in the Berkut design; (a) Filters wheel, (b) Translation stage for lenses, (c) Detector (CCD camera).

The mechanical structure has to have in one side the interface to be mounted to the telescope flange and in the other side to the camera and the filters wheel. Through the optical path between the telescope and the CCD camera there is a translation stage that moves the lenses to the right position. All the distances correspond to the focal plane of the telescope and allow images to be as neat and clear as possible. Other objectives of Berkut in its redesign, are; easy for transportation, a weight lower than 25 Kg (international standard), installable in any 1 meter class telescope, robust, self-sufficient in hardware with its own PC to control and acquiring images. For all these and for the mechanical design one of the major design constrains was the size and weight.

## 2.2 Electronics

The electronic system that provides the semi-automatization of optical system for precise positioning of the lenses consists of the items in Figure 3. And the weights of the items considered for this purpose are shown in Table 1.

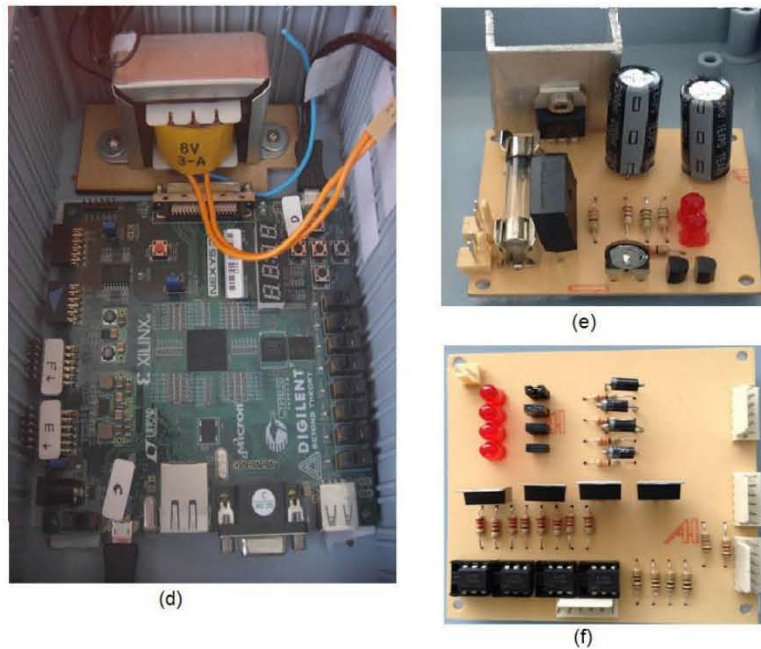


Figure 3. Items used in the Electronic system; (d) Control system, (e) Power source, (f) Motor driver

Table 1. Characteristics of the items to be considered to the new design of Berkut.

Item	Weight
Electronic system	1000 g
Filter wheel	739 g
Camera	610 g
Mounts	200 g

### 3. DESIGN AND ANALYSIS OF BERKUT

Based on the characteristics and requirements mentioned above, the design of Berkut was generated as shown in Figure 4.

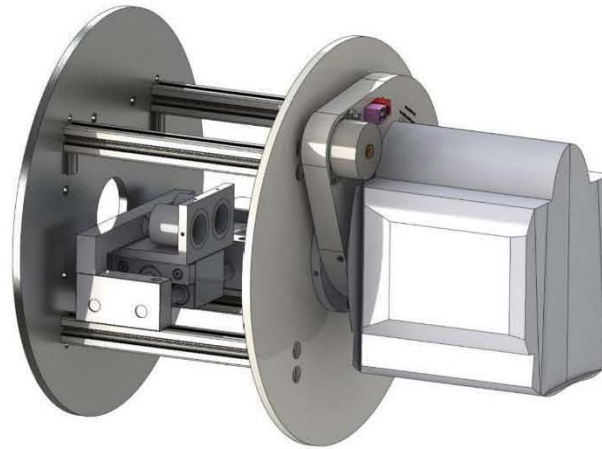


Figure 4. CAD model of Berkut.

With the final CAD model and the selected materials, we did some simulations for testing (virtually speaking) of the stresses and strains. The results are shown in Figures 5 and 6.

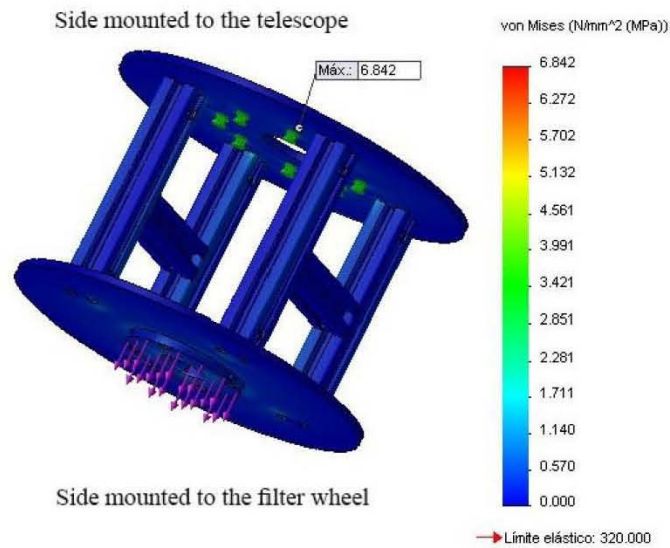


Figure 5. Stress in model of Berkut.



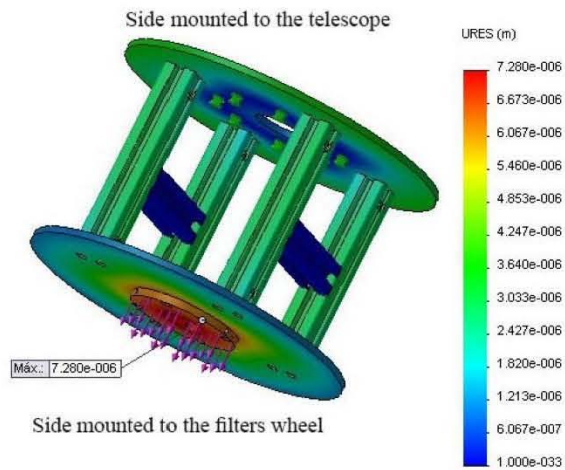


Figure 6. Strain in model of Berkut.

### 3.1 Electronics

The movement of the translation stage is made by a stepper motor. This tends to generate a heat into the system, which in the case of the speckle interferometry is negligible due the short time of exposures. However, this constant heat generates an effect in the air around the instrument and it is necessary to isolate the optical system. Besides, the light from the outside has to be avoided inside of the instrument.

A solution implemented in Berkut for solving these problems was the use of acrylic covers involving the support structure. The inner surface of the covers was treated to avoid the reflection. And the external surfaces provide the interface for supporting the electronic circuits. A representation of the final configuration of Berkut instrument is shown in Figure 7. After completing the tests in the virtual models the prototype of Berkut was constructed as shown in Figure 8.

Side mounted to the telescope

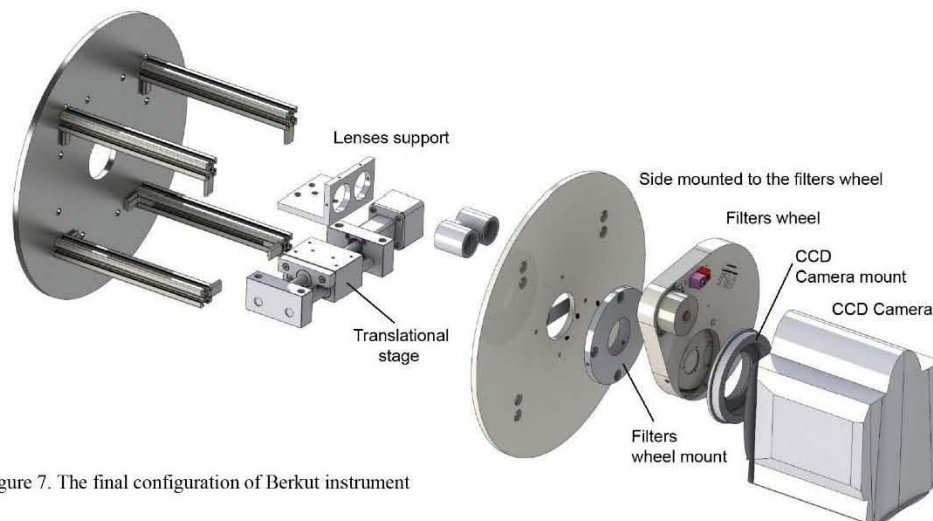


Figure 7. The final configuration of Berkut instrument

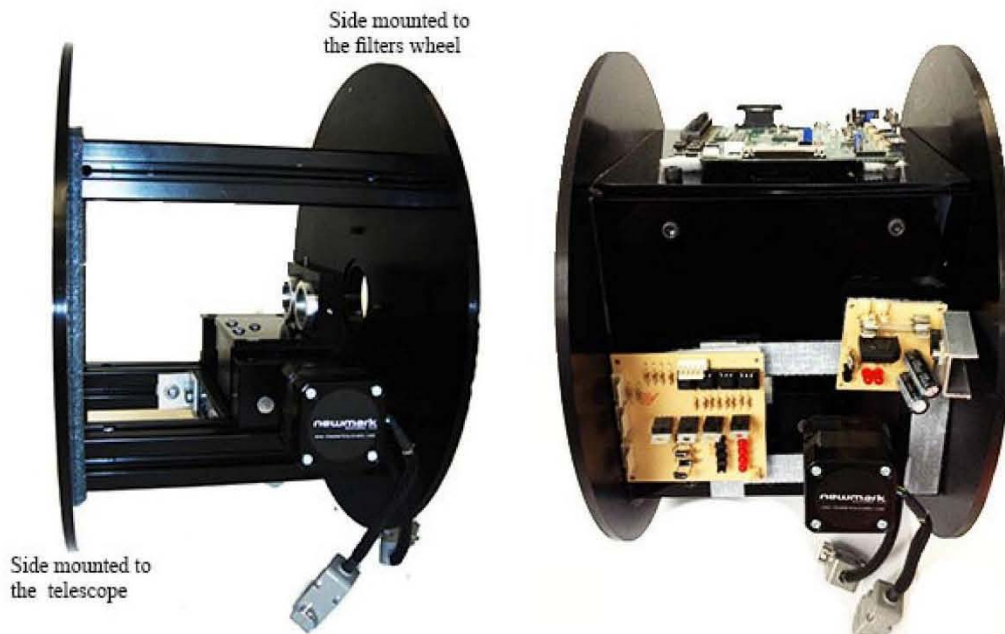


Figure 8. Left, The prototype of Berkut. Right, The prototype of Berkut with the covers on the electronic system.

#### 4. RESULTS AND CONCLUSIONS

The instrument was tested at the 1 meter telescope at the Observatorio Astronómico Nacional, Tonantzintla, Puebla, Mexico (see Figure 12). The optical and mechanical integration were successful and different tests of repeatability of the electronic system were conducted (for more details of the control system and control interface please see the article “The optomechatronic design and integration of the speckle interferometer to Berkut the one meter class telescopes” paper number 9147-142, presented in this same congress).

Berkut represents an important advance instrumentation equipment to perform the observation of binary stars by the Instituto de Astronomía (like were Dragon and Tohtli instruments in their time). The main advantage of this new system is that, in comparison with conventional ones, is quite simple and inexpensive. In addition the mechanical structure and covers are suitable for an easy assemble.

This permits to change objectives, lenses, and camera; upgrade electronics and also assemble and disassemble the entire instrument into the telescope in a short time before starting to observe. This provides a sturdy instrument that could travel and be used in different 1-meter class telescopes.



Figure 9. Left upper, the prototype of Berkut mounted in the telescope. Left down, the prototype of Berkut with the CCD camera. Right, the telescope 1 meter class at Tonantzintla, Puebla, México with the prototype of Berkut.

## REFERENCES

- [1] Orlov, V. G., "Speckle interferometry and speckle photometry of binary stars at telescopes of Observatorio Astronomico Nacional", *Cent. Eur.Astrophys.Bull.* 37, 137–144 (2013).
- [2] Photonics Applications in Industry and Research IV, Ryszard S., Romaniuk S., Simrock V., Lutkovski M., "Low noise CCD cameras for wide field astronomy", *Proc. of SPIE Vol. 5948*, 59481I, (2005).
- [3] Orlov, V. G., Voitsekhovich, V. V., "First speckle interferometry measurements of binary stars at the OAN - Tonantzintla" *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 43, 137-140 (2007).
- [4] Orlov, V. G., Voitsekhovich, V. V., "Speckle interferometry at the Observatorio Astrónomico Nacional I" *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 45, 155-159 (2009).
- [5] Voitsekhovich, V. V., Orlov, V. G., "Temporal properties of the brightest speckle" *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 50, 37-40 (2014).

# Anexo G. Póster presentado en el congreso SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Montreal, Quebec, Canadá.



## REVERSE AND CONCURRENT ENGINEERING APPLIED OF A HIGH RESOLUTION EQUIPMENT BERKUT FOR 1 – METER CLASS TELESCOPES

López C. Rogelio<sup>a\*</sup>, Granados A. Ricardo, Farah S. Alejandro<sup>\*b</sup>.

<sup>a</sup> División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cto. Int. S/N, Cd. Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, D.F., México;

<sup>b</sup> Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Cto. Exterior S/N, Cd. Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, D. F., México.

\*a iee.roglop@gmail.com; \*b farah@astro.unam.mx

### ABSTRACT

Several factors make observational astronomy difficult for astronomers; one of them is the atmosphere. The light that a star emits is refracted when it goes through the earth's atmosphere; the result of this is that the image of a punctual star is not what the physics would lead us to expect. At the Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) an instrument has been developed called "Berkut", which uses the speckle interferometry technique to improve these effects and obtain interesting and valuable scientific studies.

We present the mechanic reengineering and acceptance test of Berkut. This instrument was designed for taking images of high resolution. Essentially, it is composed by a set of basic optics which is aligned and in focus with a 1-meter class telescope. It has its own electronic components for controlling remotely a filter wheel; that allows the exchange of the filters according to the requirements of the observer, a couple of objectives mounted in a translation stage, and a CCD camera for acquiring several images per second that are used in the speckle interferometry technique. Berkut will be used in the telescope of the Observatorio Astronómico Nacional in Tonantzintla, located in the state of Puebla, Mexico, but it can be used in any telescope 1 meter class. It is intended to build another Berkuts for being used simultaneously in different telescopes, so it is important to keep the costs as low as possible.

**GOAL.** Integration of optical, electronic, mechanical and control devices, to create a new version of the Berkut instrument, incorporating new features like the ability to be remotely controlled and programmed movements that will provide a semi-automatic functionality (with minimal intervention of the observer), for taking imaging. This instrument can be adapted to any 1 meter class telescope.

### GENERAL DESCRIPTION OF THE INSTRUMENT AND DESIGN.

By using the principle of speckle interferometry is necessary the use of different lenses, filters and a CCD camera for image acquisition. In figure 1 a diagrammatic representation of the design which is based Berkut is shown.

The mechanical structure has to have in one side the interface to be mounted to the telescope flange and in the other side to the camera and the filters wheel. Through the optical path between the telescope and the CCD camera there is a translation stage that moves the lenses to the right position. All the distances correspond to the focal plane of the telescope and allow images to be as neat and clear as possible. Other objectives of Berkut in its redesign, easy for transportation, a weight lower than 25 Kg (international standard), installable in any 1 meter class telescope, robust, self-sufficient in hardware with its own PC to control and acquiring images. For all these and for the mechanical design one of the major design constraints was the size and weight

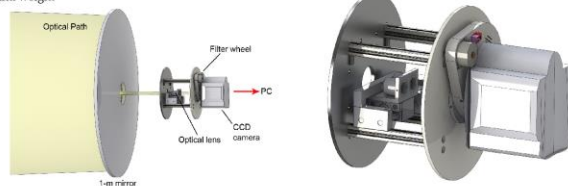


Figure 1. The optical scheme of the Space and Time High Resolution Equipment

With the final CAD model and the selected materials, we did some simulations for testing (virtually speaking) of the stresses and strains. The results are shown in Figures 3.

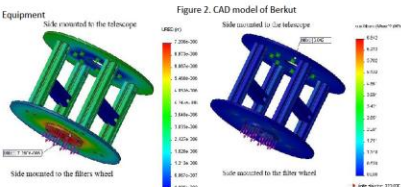


Figure 3. Stress and strain of the Space and Time High Resolution Equipment

**TESTS.** A representation of the final configuration of Berkut instrument is shown in Figure 4. After completing the tests in the virtual models the prototype of Berkut was constructed as shown in Figure 5. The instrument was tested at the 1 meter telescope at the Observatorio Astronómico Nacional, Tonantzintla, Puebla, Mexico (see Figure 6). The optical and mechanical integration were successful and different tests of repeatability of the electronic system were conducted.

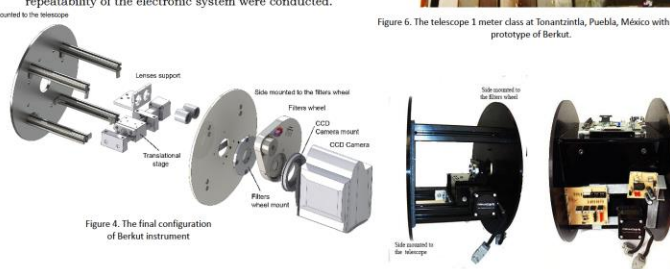


Figure 4. The final configuration of Berkut instrument



Figure 6. The telescope 1 meter class at Tonantzintla, Puebla, México with the prototype of Berkut.

### CONCLUSIONS.

Berkut represents an important advance instrumentation equipment to perform the observation of binary stars by the Instituto de Astronomía. The main advantage of this new system is that, in comparison with conventional ones, is quite simple and inexpensive. The mechanical structure and covers are suitable for an easy assemble. This permits to change objectives, filters, and camera; upgrade electronics and also assemble and disassemble the entire instrument into the telescope in a short time before starting to observe. This provides a sturdy instrument that could travel and be used in different 1-meter class telescopes.

### REFERENCES.

- [1] Orlov, V. G., "Speckle interferometry and speckle photometry of binary stars at telescopes of Observatorio Astronómico Nacional", Cent. Eur. Astrophys. Bull. 37, 137-144 (2013).
- [2] Photonics Applications in Industry and Research IV, Ryszard S., Romaniuk S., Simrock V., Lučkovski M., "Low noise CCD cameras for wide field astronomy", Proc. of SPIE Vol. 5948, 594811, (2005).
- [3] Orlov, V. G., Voitsekhovich, V. V., "First speckle interferometry measurements of binary stars at the OAN - Tonantzintla" Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 43, 137-140 (2007).
- [4] Orlov, V. G., Voitsekhovich, V. V., "Speckle interferometry at the Observatorio Astronómico Nacional I" Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 45, 155-159 (2009).
- [5] Voitsekhovich, V. V., Orlov, V. G., "Temporal properties of the brightest speckle" Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 50, 37-40 (2014).

# Anexo H. Póster presentado en el XXV Congreso Nacional de Astronomía, México D. F.



## Diseño Mecatrónico e Implementación del Instrumento BERKUT para la Observación de Estrellas Binarias por medio de Interferometría de Redes

López Rogel <sup>1</sup>, Farah Alejandro <sup>2</sup>,  
Olivero Valdez <sup>2</sup>, Granados Ricardo <sup>2</sup>

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, [rolopez@unam.mx](mailto:rolopez@unam.mx)

<sup>2</sup> Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México.

### Resumen

La interferometría de redes consiste en la captura de una gran cantidad de imágenes de una exposición, procesamiento y almacenamiento de los datos para el estudio de la interferometría de redes. Este instrumento puede ser adaptado a cualquier instrumento óptico para lograr la resolución de las imágenes de estrellas binarias. Se presentará el diseño de un instrumento óptico de interferometría de redes para la observación de estrellas binarias.

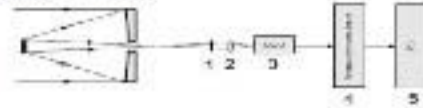


Fig. 1. The optical scheme of the speed-interferometer. 1 - The typical interferometer filter; 2 - Optical lens; 3 - The camera (CCD camera); 4 - Beam splitter; 5 - Detector.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un instrumento óptico de interferometría de redes para la observación de estrellas binarias. Este instrumento puede ser adaptado a cualquier instrumento óptico para lograr la resolución de las imágenes de estrellas binarias.



Fig. 2. Lens displacement system.



Fig. 4. Electronic control system.

### Metodología

El esquema óptico del instrumento relacionado con la interferometría de redes se muestra en la Fig. 1.

La luz proveniente del telescopio pasará a través de una rueda giratoria que contendrá una serie de líneas que pueden ser intercambiadas según sea conveniente durante la observación. Los sensores ópticos y la cámara CCD están montados sobre una barra de desplazamiento lineal que permite el movimiento a lo largo de un grado de libertad y controlar los otros grados de movimiento.

Para lograr el posicionamiento requerido del sistema, la barra de desplazamiento será accionada a un motor a pasos, el cual le permite garantizar la precisión de la posición y un avance controlado y lento. La barra de desplazamiento será controlada mediante un controlador de motor a pasos ( stepper motor) y un controlador de motor a pasos ( stepper motor). El controlador de motor a pasos controlará el motor a pasos y el controlador de motor a pasos controlará el motor a pasos. La barra de desplazamiento será controlada mediante un controlador de motor a pasos digital y la barra de desplazamiento será controlada mediante un controlador de motor a pasos digital. El controlador de motor a pasos digital controlará el motor a pasos digital y el controlador de motor a pasos digital controlará el motor a pasos digital. El controlador de motor a pasos digital controlará el motor a pasos digital y el controlador de motor a pasos digital controlará el motor a pasos digital.

Todos los elementos mencionados son controlados por el software dedicado que se estará ejecutando en la computadora, es decir la computadora controla el correcto posicionamiento de los elementos. La elección del tipo avanzado de la barra de líneas, la adquisición de datos, el control de la imagen digital, el control de la imagen digital, y los cálculos de los datos.

### Resultados

El instrumento diseñado será capaz de observar estrellas binarias con una precisión de 100 micrómetros. El instrumento diseñado será capaz de observar estrellas binarias con una precisión de 100 micrómetros.

### Conclusiones

Se describe un nuevo enfoque, semi-automático de interferometría de redes. Conserva todas las ventajas de la interferometría de redes y cuenta con una amplia gama de mediciones mediante el uso de una simple técnica de imagen por desplazamiento. La gran ventaja de este enfoque es que el instrumento puede ser adaptado a cualquier instrumento óptico para lograr la resolución de las imágenes de estrellas binarias.

## Anexo I. Elementos comerciales.



### eTrack Series Linear Stage

#### Motor Connector

DB-3 Male	Description
1	Phase A
2	A Center Tap
3	Phase B
4	B Center Tap
5	Phase A'
6	Phase B'

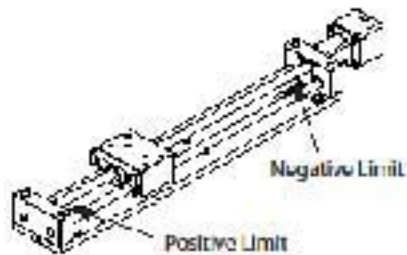
#### Motor Specifications

Step Angle	1.8°
Amps/Phase	0.95
Holding Torque	27 oz in
Resistance	4.0 Ohm/Phase
Inductance	3.2 mH/Phase
Inertia	0.15 oz-in <sup>2</sup>

#### Signals Connector

DB-3 Female	Description
1	+ Limit
2	- Limit (motor side)
3	Ground

Limit switches are wired normally closed.



#### Signals Connector (Encoder Option)

High Density - 15 Pin Female	Description
1	+ Limit
2	Limit (motor side)
3	Ground
4	Ground
5	+5V Encoder Power
6	Ch. A-
7	Ch. A+
8	Ch. B+
9	Ch. B-
10	Index +
11	Index -

Limit switches are wired normally closed.

#### Scale Factors

	9mm Pitch Lead Screw	12mm Pitch Lead Screw	
Motor	25000 steps/mm 800 steps/mm	4166.666 steps/mm 133.333 steps/mm	@ 250 microsteps @ 8 microsteps (NRC-A21 Controller)
Encoder	2000 counts/mm	333.333 counts/mm	1000 Counts Per Revolution

Especificaciones de la plataforma de desplazamiento lineal.

**ANDOR**  
TECHNOLOGY  
Low Light Imaging Cameras

**Features & Benefits**

**EMCCD technology**

Absolute low sensitivity from EMCCD gains – even single photon signals are amplified above the noise floor. Full use of CCD area is maintained for maximum.

**TE cooling to -80C**

Unparalleled reduction of PM-amplifier thermal noise.

**RealGain™**

Accurate EMCCD gain selection directly from a clear and quantitative scale.

**Live**

Unique innovation that empowers the EMCCD to operate with maximum-waiting acquisition efficiency through live cell microscopy software.

**> 60% QE from virtual phase sensor**

Highly accurate photon counting. One window design.

**Enhanced red response**

Significantly higher sensitivity to red-emitting dyes such as Cy5, rhodamine, Biotin and Alexa568. Boost detection of red.

**Full speed readout**

30MHz readout speed delivers 21 frames/sec of full megapixel resolution, so time-lapse work just speeds.

**UltraView™**

Optical to isolated access to help and to maintain unobscured viewing and QE performance, your analysis.

**3 x 3 um pixel size (only camera)**

Excellent balance of highQE resolution and photon collection.

**Variable frame-rate range**

Adjustable pixel clocking parameters, yielding extended accurate frame rates.

**Enhanced Scientific Clamp**

Essential for quantitative accuracy of spectral measurements.

**Negligible EM Gain aging**

No requirement for gain recalibration.

**Multi-bit color camera (optional)**

Only camera to record color data images – excellent for visualization of experimental set up.

**Dropped camera head**

Speculation compatible with the microscope imaging with full temporal resolution.

**IXon<sup>EM</sup> 885**

**High Resolution Megapixel EMCCD**

A proud member of Andor's Ultra™ EMCCD range, the 885 benefits from the unique innovations and highest performance specifications that have characterized this camera family in the industry's leading high-performance EMCCD.

The megapixel sensor format and 3 x 3 um pixel size of the 885 presents an attractive combination of ease of use and resolution, enabling excellent support over-sampling for cell microscopy.

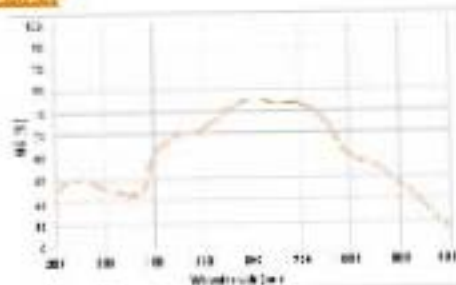


When more light is available from live samples, the EMCCD gain can be completely switched on and the camera operated as a 'transparent' CCD camera. However if the camera is used in low-light conditions the EMCCD gain can be applied to render it single photon sensitive, while maintaining a red detection frame rate of 21 frames/sec. The absolute EM gain multiplication can be varied linearly from unity up to a maximum frame rate of 1000000. A true quantitative gain scale. Extended red QE response is ideally matched to popular red emitting fluorophores and for imaging of Dose Channel Condensates using TRIT probe laser.

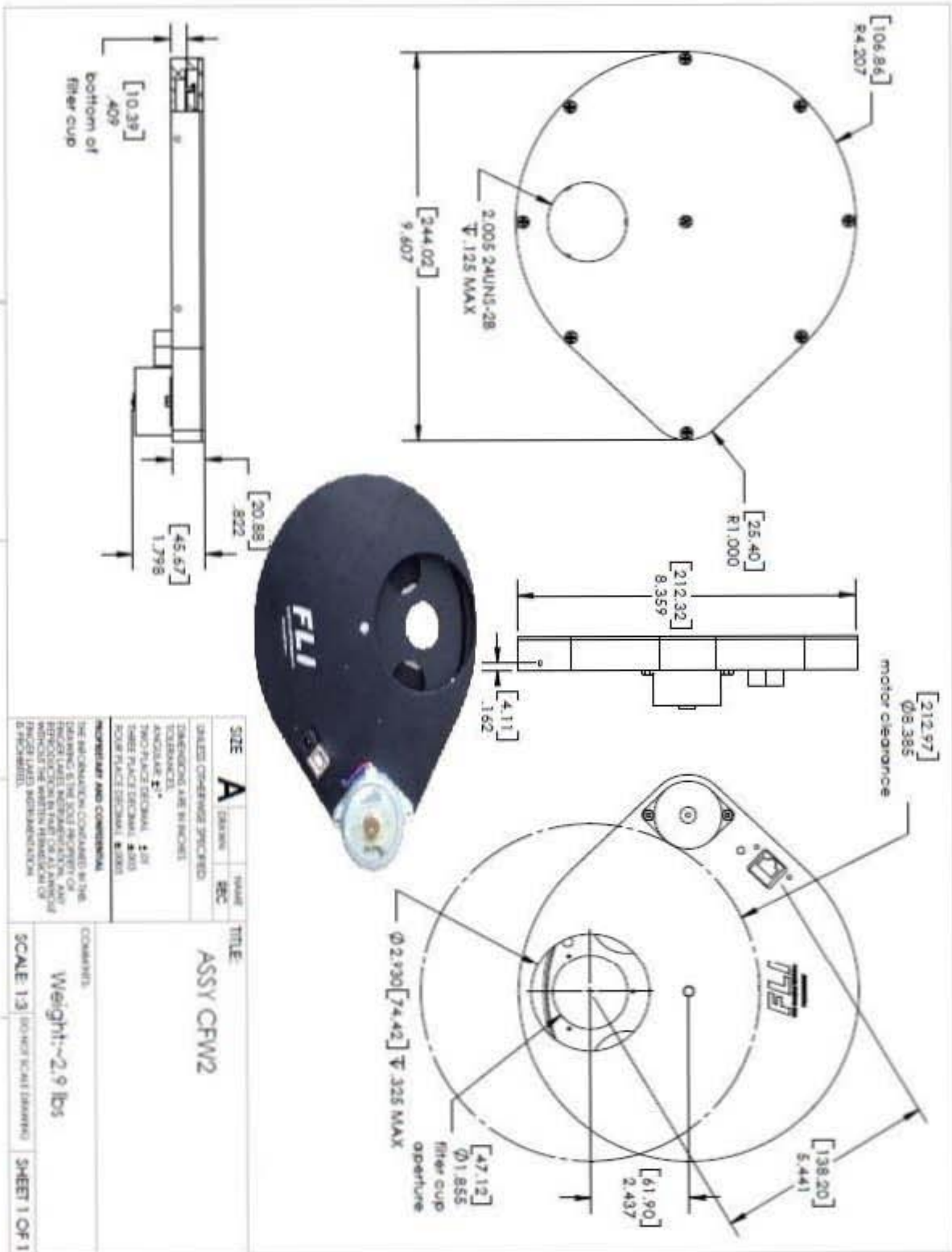
**Key Specifications**

Active Pixels	Total Size
Max Size (W x H, um)	8 x 8
Image Area (um²)	8 x 8
Active Area Pixel Well Depth (µm², typical)	30,000
Gain Register pixel well depth (µm², typical)	30,000
Max Readout Rate (MHz)	20
Frame Rate (frames per sec)	
Full resolution	31.4
2 x 2 binning	62.8
Max Rate (MHz)	
@ 30 MHz	25
With EM Gain	<1

**Quantum Efficiency**



**Peak Quantum Efficiency**  
CCD type: **typical**  
EMCCD type: **90%**



Especificaciones rueda de filtros.