UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

"DISEÑO Y FABRICACIÓN OPTOMECÁNICOS EN LA INSTRUMENTACIÓN ASTRONÓMICA; OSIRIS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERÍA
P R E S E N T A
A L E J A N D R O F A R A H S I M Ó N

Director de Tesis: Dr. Élfego Ruiz Schneider

México, D.F. **2008**

… A MIS PADRES…

ÍNDICE

RESUMEN **5**

ABSTRACT **5**

1. INSTRUMENTACIÓN ASTRONÓMICA **7**

1.1 ESTADO DEL ARTE 8
1.2 DESARROLLO TECNOLÓGICO 14
1.3 INFLUENCIA DE LA ASTRONOMÍA EN LA ÓPTICA Y LA MECÁNICA 16
1.4 ALCANCES DE ESTE TRABAJO 17

2. FUNDAMENTOS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA **19**

2.1 MOVIMIENTO ONDULATORIO DE LA LUZ 19
2.2 POLARIZACIÓN 21
2.3 FRENTES DE ONDA 23
Ley de refracción *24*
Diafragmas y pupilas *26*
Óptica geométrica de los lentes *27*
Variaciones del índice de refracción *29*
Principio de Huygens *30*
2.4 CALIDAD DE IMAGEN Y DESEMPEÑO ÓPTICO 31
Difracción *31*
Medición de la imagen borrosa *32*
2.4.1.1 Diagrama de puntos 33
2.4.1.2 Función de energía encerrada 33
2.4.1.3 Función de Dispersión Puntual 34
Resolución óptica *34*
Función de transferencia modular o de la modulación *35*
2.5 POLINOMIOS DE ZERNIKE 35

3. ¿QUÉ ES LA OPTOMECÁNICA? **37**

3.1 LENTES CONTEMPORÁNEOS 38
3.2 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS ASTRONÓMICAS DE LAS LENTES 38
Desarrollo de la óptica *40*
3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DEL VIDRIO 44
Densidad *44*
Módulo de elasticidad, de torsión y razón de Poisson *45*
Coeficiente de expansión térmica *46*
Coeficiente óptico de esfuerzos *47*
3.4 CONSIDERACIONES AMBIENTALES 48
Temperatura *48*
Presión *49*
Vibraciones e impactos *49*
Humedad y otros factores *50*
Pruebas ambientales *50*

3.5 SISTEMAS CLÁSICOS DE SUJECIÓN DE LENTES Y ESPEJOS 51
Tolerancias y errores de fabricación.....*52*
3.6 CRITERIOS DE DISEÑO Y DE FALLA OPTOMECÁNICOS 53
3.7 TENSOR DE ESFUERZOS ÓPTICOS O BIRREFRINGENTE 54
3.8 ANÁLISIS INTEGRAL OPTOMECÁNICO.....57
Presupuesto de errores.....*58*
Atermalización *58*

4. BARRIL DE LA CÁMARA DE OSIRIS 61

4.1 INTRODUCCIÓN.....61
4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INSTRUMENTO OSIRIS.....62
4.3 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS.....63
4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BC.....65
4.5 CÁLCULOS MECÁNICOS.....69
Soporte radial.....*69*
Posicionado y esfuerzos axiales de los lentes *70*
Unida de enfoque *70*
Unidad Pasiva de Desplazamiento *71*
Barril: acción gravitatoria sobre el Barril ensamblado.....*71*
4.6 PRESUPUESTO DE ERRORES: 72
4.7 NOTAS DE DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS. 74
Celdas.....*76*
Unidades de Compensación.....*81*
Unidad de Enfoque.....*81*
Soportes Radiales.....*84*
4.8 PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS 85

5. ENSAMBLE, VERIFICACIÓN E INTEGRACIÓN.....99

5.1 RESUMEN 100
5.2 INTRODUCCIÓN.....100
5.3 INSTRUCCIONES DE USO.....100
5.3.1 Advertencias generales: *100*
5.3.2 Simbología: *100*
5.4 NIVELES DE MANTENIMIENTO.....102
5.5 ENSAMBLE OPTOMECÁNICO.....102
5.5.1 Preparación.....*102*
5.5.2 Tornillos de tracción.....*102*
5.6 POSICIONADO DEL LENTE EN LAS HERRAMIENTAS AUXILIARES 103
5.7 ENSAMBLE DEL LENTE EN SU CELDA.....104
5.7.1 Posicionado de la celda en las herramientas auxiliares *104*
5.7.2 Ensamble del lente y su celda *105*
5.7.3 Ajuste del lente en su celda al retirar los tornillos de tracción.....*105*
5.7.4 Ensamble de la celda, separadores y O-Ring *106*
5.8 ENSAMBLE OPTOMECÁNICO DE LA CELDA DE D1 EN EL BARRIL 1 107
5.8.1 Colocación del engrane y rodamiento de la Unidad de Enfoque.....*108*
5.8.2 Ensamble de los resortes de precarga *109*
5.8.3 Ensamble del resorte de precarga (interruptor de fin de carrera).....*110*

5.9 ENSAMBLE DE LA UNIDAD DE ENFOQUE EN EL BARRIL 1 110
5.9.1 Ensamble de la montura de fijación de los resortes 110
5.9.2 Ensamble del interruptor de "home".....111
5.9.3 Ensamble de los interruptores de fin de carrera.....111
5.9.4 Ensamble del Codificador en la UE.....112
5.10 ENSAMBLE OPTOMECÁNICO DEL BARRIL 2 CON EL BARRIL 1 113
5.10.1 Ensamble de la Celda de D2 con el B1.....113
5.10.2 Ensamble de la interfaz del Shutter con la Celda de D2 114
5.10.3 Ensamble de la Celda de D3 con la de S2 114
5.10.4 Ensamble de la Celda de S2 con la de S1 115
5.10.5 Ensamble de la Celda de S1 con la interfaz del Shutter 115
5.11 ENSAMBLE DE LA UE EN LA MONTURA DE PRUEBAS 116
5.12 TRANSPORTE DE LA CÁMARA 117
5.13 PRECAUCIONES DE ALMACENAJE.....118
5.14 INFORMACIÓN BÁSICA DE LA CÁMARA 118

6. CRITERIOS Y PROPUESTAS OPTOMECÁNICOS 119

Recomendaciones y Guías de Diseño.....119
Líneas de Investigación.....122

APÉNDICES

A *Especificaciones y Requerimientos del Barril para la Cámara*

B *Propiedades Físicas del Zerodur®*

C *Especificaciones Físicas y Dimensionales de las Lentes de la Cámara*

D *Documento realizado para la Revisión de Diseño Preliminar*

E *Documento realizado para la Revisión de Diseño Preliminar*

F *Lista de Componentes y Planos de Manufactura*

RESUMEN

LOS SISTEMAS ÓPTICOS para la instrumentación científica requieren del uso de lentes con requerimientos mecánicos críticos. La posición y rotación de estos componentes está ligada directamente con la eficiencia del instrumento. Esta Tesis describe el diseño optomecánico, manufactura, ensamble e integración del barril de la cámara, localizada en el instrumento astronómico *OSIRIS* del Gran Telescopio Canarias (*GTC*). El cual fue desarrollado 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 dobletes 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. Se incluye una breve descripción de *OSIRIS*, los criterios de diseño, las especificaciones y requerimientos optomecánicos. Se explica la forma en que se realizaron los cálculos correspondientes para garantizar el correcto funcionamiento optomecánico del barril. Los planos y procesos de manufactura; el manual de ensamble y desensamble mecánicos; y los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo desarrollados en esta tesis se incluyen. Finalmente, se condensan una serie de recomendaciones en forma de guías de diseño para futuros desarrollos científicos que involucren componentes que requieran de un diseño optomecánico.

ABSTRACT

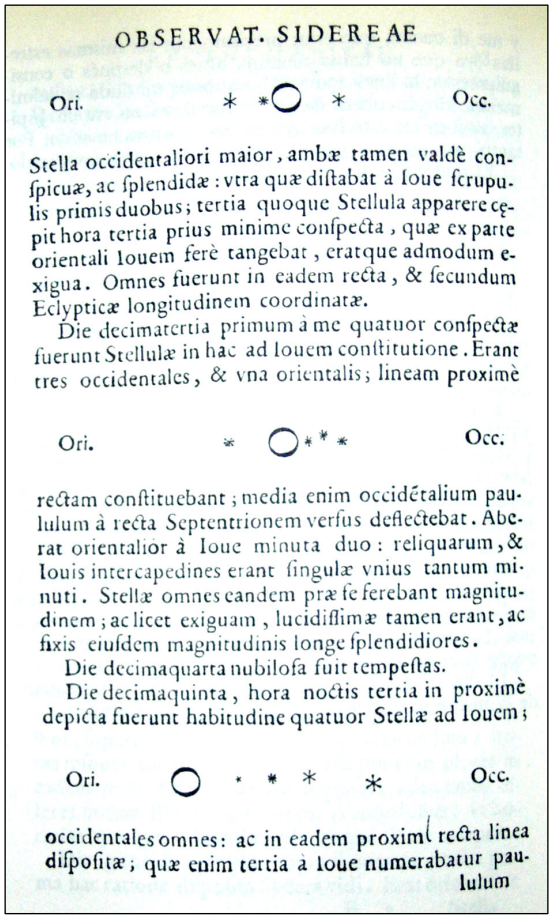
OPTICAL SYSTEMS for scientific instrumentation include lenses with critical mechanical requirements. Position and rotation issues of these components are inextricably bound to the efficiency of the instrument. This Thesis describes the optomechanical design, manufacturing, assembly and integration of the Camera Barrel located in the *OSIRIS* imager/spectrograph for the Gran Telescopio Canarias (*GTC*). The barrel has been developed by the Instituto de Astronomía at the Universidad Nacional Autóonoma de México (*IA-UNAM*), in collaboration with the Instituto de Astrofísica de Canarias (*IAC*), Spain. The Camera Barrel (*CB*) includes a set of eight lenses with their respective supports and cells, as well as two compensators: the Focusing Unit and the Passive Displacement Unit (*PDU*), which uses the third doublet as thermal compensator to maintain the camera's focal length and image quality with changing ambient temperature. A brief description of *OSIRIS*, the design criteria, optomechanical requirements and specifications for misalignment errors and stresses are included. The camera components, analytical calculations, *FEA* simulations and error budgets are also described. The iterative process during all the stages design with *OSIRIS CB* is also verified and summarized. Finally, notes about fabrication, metrology, assembly and integration are proposed as guidelines for future developments in optomechanics.

1. INSTRUMENTACIÓN ASTRONÓMICA

LOS SISTEMAS ÓPTICOS han tenido un desarrollo trazable a lo largo de la historia de la revolución científica y del desarrollo tecnológico. En un inicio su evolución más que científica o tecnológica fue artística. Con el tiempo y el *método científico* la óptica se ha ido perfeccionando hasta lo que actualmente hoy conocemos y utilizamos. La óptica es la ciencia de la luz y del cómo ésta interactúa con el mundo que nos rodea. Explica como se refleja y refracta. La óptica es al mismo tiempo ciencia e ingeniería. Gracias a ella se han desarrollado muchos elementos útiles y que todos conocemos, tales como anteojos, cámaras, telescopios, microscopios entre muchos otros.

Su historia comienza en la antigua Grecia cuando Aristóteles de Estagira (384 – 322 a.C.) y Demócrito de Abderea (460 – 370 a.C.) especularon por primera vez sobre la naturaleza de la visión, trataron de explicar que el color de la luz dependía de la forma, el tamaño y las propiedades generales de los átomos. La leyenda sobre una estrategia de guerra propuesta por Arquímedes de Siracusa (290? – 212? a.C.) describe la primera aplicación bélica de la óptica. El mito dice que logró ganar una batalla al Imperio Romano gracias a que enfocó cientos de espejos a las embarcaciones romanas y las quemó. Claudio Ptolomeo (85 – 165 d.C.), quien propuso la teoría geocéntrica que durante 1400 años rigió el desarrollo de la astronomía, escribió cinco libros sobre óptica. Lamentablemente solo uno de ellos ha logrado sobrevivir, en él se trata de forma empírica y por primera vez las leyes de la refracción de la luz (REF 1). Es cierto que el desarrollo durante todos estos años y hasta los descubrimientos realizados por Galileo Galilei (1564-1642) son pocos. Sin embargo, fueron los pilares que fundaron la óptica actual y que también fueron ejemplo notable a seguir por muchas otras áreas del conocimiento[1]. Galileo, gracias a una aplicación que le dio a los lentes simples y convencionales que fabricaba un amigo suyo, Hans Lippershey (1570 – 1619 d.C.), fue el primer ser humano en observar a través de un telescopio y ver los satélites de Júpiter (véase Figura 1.1). Este descubrimiento desechó la teoría geocéntrica de Ptolomeo y casi llevó a Galileo a la hoguera (REF 1.2).

[1] El objetivo de este trabajo no pretende ser una referencia histórica. Toda la información que se presenta al respecto de la historia de la óptica tiene el propósito de poner un marco de referencia para la justificación del mismo.



OBSERVAT. SIDEREAE

Ori. * *○ * Occ.

Stella occidentaliori maior, ambæ tamen valdè conſpicuæ, ac ſplendidæ: vtra quæ diſtabat à Ioue ſcrupulis primis duobus; tertia quoque Stellula apparere cepit hora tertia prius minime conſpecta, quæ ex parte orientali Iouem ferè tangebat, eratque admodum exigua. Omnes fuerunt in eadem recta, & ſecundum Eclypticæ longitudinem coordinatæ.

Die decimatertia primum à me quatuor conſpectæ fuerunt Stellulæ in hac ad Iouem conſtitutione. Erant tres occidentales, & vna orientalis; lineam proximè

Ori. * ○ * * * Occ.

rectam conſtituebant; media enim occidẽtalium paululum à recta Septentrionem verſus deflectebat. Aberat orientalior à Ioue minuta duo: reliquarum, & Iouis intercapedines erant ſingulæ vnius tantum minuti. Stellæ omnes eandem præ ſe ferebant magnitudinem; ac licet exiguam, lucidiſſimæ tamen erant, ac fixis eiuſdem magnitudinis longe ſplendidiores.

Die decimaquarta nubiloſa fuit tempeſtas.

Die decimaquinta, hora noctis tertia in proximè depicta fuerunt habitudine quatuor Stellæ ad Iouem;

Ori. ○ * * * * Occ.

occidentales omnes: ac in eadem proximè recta linea diſpoſitæ; quæ enim tertia à Ioue numerabatur paululum

Un año después de la muerte de Galileo nació Isaac Newton (1643 – 1727 d.C.). Él marcó la pauta para toda una batalla tecnológica. Gracias a su creatividad e ingenio, Newton logró desarrollar un telescopio que su principio de operación estuviera regido por óptica reflectiva (espejos) en vez de refractiva (lentes) como en el caso de Galileo. Durante siglos, astrónomos, ingenieros, físicos y sobre todo ópticos compitieron por lograr demostrar que sistema era mejor para su uso en los telescopios. Finalmente, debido a la complejidad de su fabricación y las deformaciones mecánicas que tienen los lentes, actualmente los grandes telescopios basan su principio de funcionamiento en óptica reflectiva. Sin embargo, los lentes tienen su nicho implacable en la instrumentación astronómica que requieren los telescopios para discretizar y escudriñar los cielos.

Figura 1.1. *Imagen del "Sidereus Nuncius" publicado por Galileo.*

1.1 Estado del arte

En esta sección se hace una introducción a la historia del desarrollo de la instrumentación astronómica en México y el mundo en general. Para comenzar se incluye la cita de la Referencia 3, la cual comenta de forma clara y concisa este desarrollo tecnológico en México.

"La óptica en México es sumamente joven y por lo tanto también muy incompleta. Sin embargo, existen algunos datos que nos permiten suponer que ya en el siglo XVIII se construían instrumentos ópticos para usos astronómicos. Uno de los científicos que muy probablemente construyó algunos telescopios pequeños fue el criollo autodidacta Joaquín Velázquez de León (1732-1786). Otro científico, quizá el más importante de esa época, es José Antonio Alzate (1737-1799), quien siguió la carrera eclesiástica y se dedicó a la ciencia con tanto empeño y éxito que prácticamente tocó todos los campos de la ciencia. Fue miembro de la Academia de Ciencias de París y del Jardín Botánico de Madrid. Al igual que Velázquez de León, es muy probable que Alzate también haya construido algunos instrumentos ópticos[2].

[2] Fragmentos extraídos de la Referencia 3.

Durante la primera mitad del siglo XIX el cultivo de la ciencia y en particular el de la física fue muy limitado; sin embargo, en la segunda mitad se recupera el entusiasmo. Es en esta época (1884) cuando el antiguo Observatorio Astronómico de Chapultepec se traslada a la tranquila villa de Tacubaya (véase Figura 1.3). Desde entonces se usaban instrumentos ópticos, principalmente astronómicos, pero sólo a nivel de usuario, pues hasta hace poco tiempo ninguno se fabricaba de manera industrial en nuestro país.

Figura 1.2. *Personal académico y estudiantes del Instituto de Astronomía, CU, UNAM (2005).*

Figura 1.3. *Edificio del Telescopio de 2 m del Observatorio Astronómico nacional, San Pedro Mártir, Baja California, México 2006*

Un ejemplo son los telescopios astronómicos, tanto de aficionados como profesionales, que en su mayoría eran de origen francés. Desde finales del siglo pasado, pero principalmente desde alrededor de los años cuarenta, algunos aficionados a la astronomía comenzaron a construir sus propios telescopios, de tamaño pequeño, generalmente del tipo newtoniano. Ejemplos de ello son el señor José de la Herrán padre y el señor Armando López Valdivia, de quien el autor de este libro, cuando era estudiante de secundaria en la ciudad de León, Gto., en el año de 1954, aprendió esta fascinante afición. Un ejemplo notable es la Sociedad Astronómica de México, fundada en 1902, donde el señor Alberto González Solís ha construido pequeños telescopios desde hace cincuenta años. Los primeros trabajos ópticos serios a nivel profesional que se desarrollaron en México probablemente fueron los relacionados con estudios astronómicos, como las investigaciones fotométricas estelares efectuadas por los astrónomos del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (véase Figura 1.2). Son dignos de mención, entre otros, el doctor Eugenio Mendoza y la doctora Paris Pismish, precursores en este campo desde el principio de la década de los sesenta.

Dado el interés del Instituto de Astronomía de la UNAM y en especial de su director, el doctor Guillermo Haro, fue lógico que tales estudios se comenzaran a desarrollar aquí en forma más intensiva y profesional. El doctor Arcadio Poveda, un astrónomo joven y entusiasta, investigador del Instituto, cuyos intereses iban mucho más allá de la astronomía, comenzó por reclutar y dirigir a un pequeño grupo de estudiantes para que formaran un laboratorio de óptica en el mismo Instituto, con el fin de reparar y construir algunos instrumentos ópticos astronómicos sencillos. El siguiente paso que dio el doctor Poveda, con el apoyo del director del Instituto, fue enviar a algunos de estos estudiantes a hacer estudios de posgrado en óptica en la institución de más prestigio en ese entonces que se dedicaba a la óptica, que era la Universidad de Rochester.

El privilegio de ser el primer estudiante enviado, en 1961, recayó en el autor de este libro. Poco después, en 1963, fueron enviados Alejandro Cornejo y Oswaldo Harris. El primero regresó con su grado en 1965, para integrarse al Departamento de Óptica del Instituto de Astronomía. Este departamento se inició con un grupo muy entusiasta de estudiantes de física, que comenzaron proyectos que culminaron con sus tesis de licenciatura con temas de óptica. Al poco tiempo, en 1967, regresaron a unirse al grupo Alejandro Cornejo y Oswaldo Harris. Entre las actividades que se comenzaron a desarrollar se encuentra un programa de computadora para el diseño de sistemas ópticos y la construcción de diversos telescopios, entre los cuales estaba uno de 84 centímetros de abertura. En este periodo se instaló en el Departamento un taller de óptica con el propósito de construir lentes y componentes ópticos. Con el fin de preparar a un técnico óptico de alto nivel se envió a trabajar a una compañía óptica en Mississippi a José Castro, quien regresó para reintegrarse al grupo después de dos años. En 1967 se inició otro proyecto de investigación sobre láseres de gas. Durante este periodo se construyeron numerosos láseres de helio-neón y de argón.

Un suceso importante cambió bruscamente la situación cuando bajo la iniciativa del doctor Guillermo Haro y con la colaboración del autor se reformó el Observatorio Astrofísico Nacional en Tonantzintla, Puebla, para tranformarse en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE (véase Figura 1.4).

Figura 1.4. *Instalaciones del Observatorio Astronómico Nacional y del INAOE en Tonanzintla, puebla*

Una parte substancial del grupo de óptica del Instituto de Astronomía se trasladó entonces al recientemente formado Instituto, donde por primera vez en México se comienzan a ofrecer los estudios de posgrado en óptica. Aquí se comenzaron a desarrollar trabajos de investigación en óptica muy variados. Los campos de acción principales fueron en el terreno de la instrumentación óptica, y cubrían los tres aspectos principales, que son el diseño, la construcción y la evaluación de sistemas

ópticos. Muy importante fue la colaboración de muchos especialistas en óptica, tanto mexicanos como extranjeros, que sería imposible mencionar ahora en unas cuantas líneas, pero entre ellos destaca sin lugar a dudas el doctor Robert Noble (1910-1990), quien ha dejado su país de origen para desde entonces vivir y trabajar con la comunidad mexicana. Fueron muy numerosos los estudiantes que recibieron su maestría en óptica en los primeros años del INAOE, los cuales muy pronto encontraron trabajo en muy diversas instituciones del país.

Poco después de fundado el INAOE, se crea en 1973 otra institución, llamada Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Ensenada, Baja California. Inicialmente, esta institución no realizaba ninguna investigación en óptica, pero en 1976, con el apoyo de Martín Celaya y Diana Tentori, dos egresados del INAOE, y Romeo Mercado, de origen filipino, egresado del Optical Sciences Center de la Universidad de Arizona, se establece el departamento de óptica como una sección de la División de Física Aplicada. Este departamento, además de hacer investigación en óptica, ofrece cursos de posgrado.

En 1980, bajo la iniciativa del doctor Arcadio Poveda, director del Instituto de Astronomía de la UNAM, con el apoyo del doctor Guillermo Soberón, rector de la UNAM, y la colaboración del autor, se establece en León, Guanajuato, el Centro de Investigaciones en Óptica, CIO (véase Figura 1.5). Este Centro, a diferencia de otras instituciones, está dedicado única y exclusivamente a la óptica. Aquí no solamente se hace investigación científica y desarrollo tecnológico en óptica, sino que además se ofrecen estudios de posgrado en óptica, en colaboración con la Universidad de Guanajuato.

Figura 1.5. *Centro de Investigaciones en Óptica.*

Otros grupos importantes en calidad, aunque no en número, que hacen investigación en óptica, se encuentran en la Universidad Metropolitana, en la Escuela de Física del Instituto Politécnico Nacional y en la Universidad de Puebla. Los grupos de óptica hasta ahora descritos son quizá los más numerosos, pero afortunadamente no son los únicos. La UNAM, además del grupo del Instituto de Astronomía, tiene otros, aunque muy pequeños en número, en la Facultad de Ciencias, en el Instituto de Ingeniería y en el Instituto de Física. Como podemos observar, la investigación en óptica en el país se ha desarrollado a buen paso en los últimos años. Nuestro país es miembro de la International Commission for Optics desde 1970. Recientemente, en 1987, se ha fundado la Academia Mexicana de Óptica, que a la fecha cuenta con más de cien miembros activos.

Éste es el panorama de la óptica académica y de investigación en México, pero desafortunadamente en el aspecto industrial la situación no es tan alentadora. De la enorme variedad de instrumentos ópticos que se usan en México: médicos, de ingeniería civil, educativos, militares, o simplemente para el usuario en general, prácticamente ninguno se construye en México. Todos estos instrumentos

y aparatos ópticos se importan en su gran mayoría de otros países. Es justo, sin embargo, decir que los mexicanos estamos conscientes de esta deficiencia, y que se están haciendo grandes esfuerzos por encontrar una solución.

El campo oftálmico es sin duda el más desarrollado. Desde hace más de dos décadas, tanto los armazones para anteojos como las lentes oftálmicas se producen casi en su totalidad en el país. Éste es un terreno muy próspero, pues cada día que pasa se instalan más fábricas para lentes de vidrio, de plástico o de contacto. Sorprendentemente, sin embargo, el vidrio oftálmico aún se sigue importando. El CICESE está llevando a cabo un proyecto para desarrollar la tecnología necesaria para la fabricación de este vidrio.

Los instrumentos ópticos, especialmente los de precisión, o los destinados al usuario común, es donde la situación no es tan buena. La razón es que hay una ausencia casi total de industrias ópticas, debido principalmente a que todavía no tenemos en México el número suficiente de especialistas en óptica. Tan sólo existe una fábrica de microscopios, llamada Microscopios S. A., fundada por el ingeniero Óscar Rossback, que comenzó sus operaciones fabricando la montura mecánica pero importando las componentes ópticas. Esta fábrica ha hecho esfuerzos para comenzar lentamente a substituir las componentes importadas por nacionales, gracias a la ayuda del INAOE, reforzada más tarde por el CIO, quienes están fabricando algunas de las componentes ópticas necesarias.

Es digno de mencionarse el esfuerzo que están haciendo dos antiguos investigadores del CICESE por generar en forma independiente una industria óptica. Uno de ellos es el doctor Marco Antonio Machado, fundador de la Augen-Wecken, que está haciendo grandes esfuerzos en varios campos, principalmente en la industria oftálmica y optométrica. El otro es el doctor Luis Enrique Celaya, que formó la compañía Calipo S. A. para fabricar elementos ópticos cuya materia prima es calcita o cuarzo cristalinos. Estos elementos, en su gran mayoría, se están exportando a Estados Unidos.

Finalmente, también se deben mencionar los esfuerzos de todos los centros de investigación antes mencionados por diseñar y construir instrumentos ópticos muy especializados o de precisión, en particular telescopios astronómicos. Dar una lista completa sería imposible, pero como ejemplos solamente se pueden mencionar algunos de sus resultados. En el INAOE se han fabricado las componentes ópticas de varios instrumentos astronómicos, entre los cuales el más importante es el espejo del telescopio de 210 centímetros de abertura que se encuentra ahora en Cananea, Sonora. El Observatorio Astronómico de San Pedro Mártir, de la Universidad Nacional Autónoma de México, colocó unos años antes que el INAOE, otro telescopio similar, cuya montura mecánica fue diseñada, construida e instalada bajo la dirección del ingeniero José de la Herrán. En el Centro de Instrumentos de la Universidad Nacional Autónoma de México el ingeniero José de la Herrán también ha construido numerosos telescopios de tamaño pequeño, y además ha trasmitido sus grandes conocimientos en este campo a una gran cantidad de estudiantes. En el CIO también se han construido recientemente varios telescopios de tamaño pequeño y mediano.

Por lo que respecta a otro tipo de instrumentos, mencionaremos como ejemplo solamente que en la Universidad Metropolitana y en el CIO se están haciendo láseres de bióxido de carbono. Podríamos seguir adelante la lista, pero lo anterior es suficiente para tener una idea del tipo de actividades que se están llevando a cabo en nuestro país. Ojalá que algún día llegue a existir en México una industria óptica madura más completa, que satisfaga no sólo las demandas del país sino que también exporte parte de los productos que fabrique. Dada la historia reciente y la actividad que se observa ahora, existen razones para pensar que sin duda esto ocurrirá muy pronto" (termina la cita a la Referencia 3).

La astronomía contemporánea (internacional) requiere de instrumentos adecuados para poder ser desarrollada. Grandes telescopios, radiotelescopios, espejos y lentes, detectores, computadoras, espectroscopios, fotómetros, cámaras, entre una larga lista. El objetivo final de cada uno de ellos es adquirir la información de pequeños paquetes de luz (fotones) que han viajado por el espacio hasta nosotros.

Las distancias astronómicas son fuera de lo común a nuestros sentidos, por ejemplo, la Vía Láctea, nuestra galaxia, mide en su longitud mayor alrededor de cien mil años luz (9.46×10^{17} km). Por otro lado, a una distancia de 2.2 millones de años luz, la galaxia Andrómeda es, al mismo tiempo, la galaxia espiral más cercana y el objeto más distante que se puede observar a simple vista (REF 4). La luz en este recorrido va expandiéndose de manera esférica en el espacio tiempo, esto implica que cada vez tenemos menos fotones por unidad de área. Por lo cual para obtener la información completa y adecuada, necesitamos captar por más tiempo continuo paquetes de información (fotones).

La complejidad de esto no se detiene aquí, aunados a este fenómeno natural, tenemos que considerar que la Tierra (así como todo el universo) está en movimiento, por lo cual nuestros instrumentos astronómicos deben compensar estos movimientos para que los fotones al caer en nuestras redes (detectores por ejemplo), caigan aproximadamente en el mismo lugar para que nosotros a su vez podamos sumar la información de ellos y poder tener más certeza de ella.

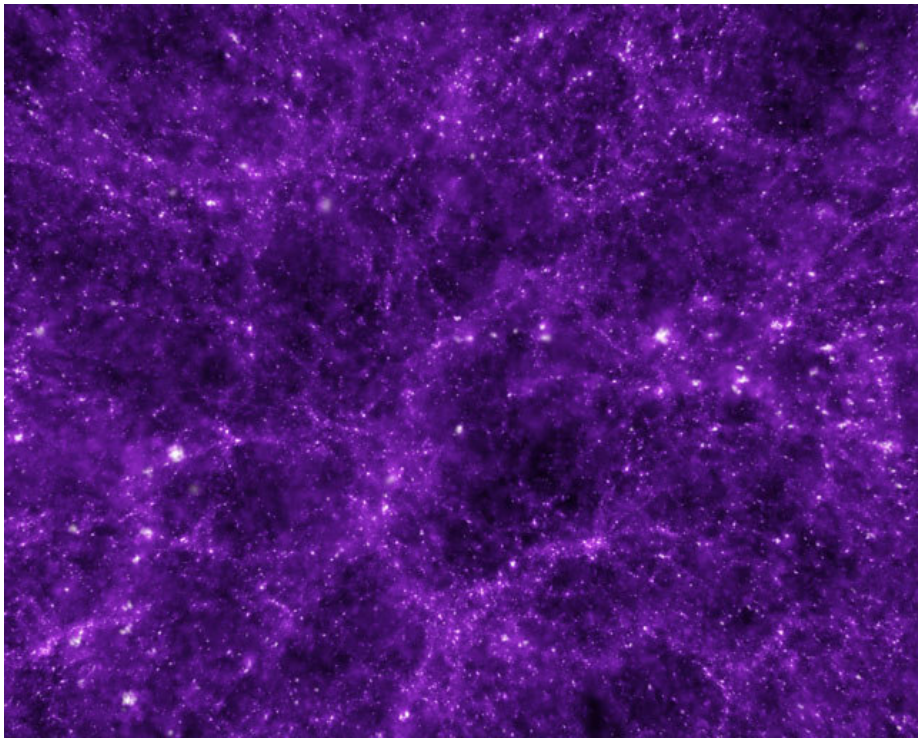


Figura 1.6. *Imagen a gran escala de la estructura del Universo (Carlos Frenk, Institute for Computacional Cosmology, Durham, UK)*

Dos millones de galaxias han sido registradas en catálogos hasta recientes fechas, y si consideramos que en nuestra galaxia existen alrededor de 10^{11} estrellas, podemos concluir que los astrónomos tienen mucho trabajo, así mismo los ingenieros (REF 5). El desarrollo científico y tecnológico están en espera de seguir su camino. Para ello es necesario implementar nuevas técnicas e instrumentos que nos permitan avanzar (véase Figura 6).

1.2 Desarrollo tecnológico

Para describir el desarrollo tecnológico debemos comenzar desde su propio contexto; proceso de investigación y desarrollo de la tecnología donde los pasos específicos que se deben seguir para lograrlo están guiados e impulsados por la tecnolgía contemporánea al momento en que se desarrolla (REF 6).

La investigación en esencia la podemos dividir en dos líneas principales; investigación básica e investigación aplicada. La primera tiene como objetivo primario el adelanto del conocimiento y de la comprensión teórica de las relaciones entre variables y modelos estadísticos de cualquier tipo. Es exploratoria y conducida a menudo por la curiosidad, el interés, o la intuición del investigador. Se conduce sin ningún extremo práctico en mente, aunque puede tener resultados inesperados que terminen teniéndolos. El término "básicos" o "fundamental" indica que, a través de la generación de la teoría, la investigación básica proporciona la fundación para la investigación adicional, a veces aplicada.

La investigación aplicada se hace para contestar preguntas específicas, prácticas; su principal motivo no es desarrollar el conocimiento. Puede ser exploratoria, pero es generalmente descriptiva. Se hace casi siempre en base de la investigación básica. La investigación aplicada se puede realizar por las instituciones académicas o industriales. A menudo, una institución académica tal como una universidad tendrá un programa de investigación aplicado específico financiado por un socio industrial interesado en ese programa o bien inspirado en el desarrollo y entendimiento del conocimiento básico.

A partir de estas simples definiciones podemos describir el fuerte vínculo existente entre ellas. La investigación básica no siempre implica un desarrollo práctico (o aplicado) al igual que la investigación aplicada solo en ocasiones específicas implica desarrollo del conocimiento. Tal es el caso claro de la astronomía y de su instrumentación.

Los modelos físicos y matemáticos que plantean los astrónomos para describir el comportamiento del universo requieren ser verificados por medio de la observación del mismo (método científico) y viceversa, la instrumentación astronómica requiere de un fundamento básico a observar y ser entendido. Aquí es donde radica el vínculo entre la investigación básica y la aplicada en el caso de la astronomía.

Un telescopio se complementa con sus instrumentos. Por lo general más de uno son los que se fabrican para cada telescopio, cada uno de ellos se diseña y especializa para ciertos

programas de investigación científica. Por ejemplo, el instrumento científico OSIRIS[3], un espectrógrafo para el Gran Telescopio Canarias, *GTC* (véase Figura 1.7), tiene varios objetivos científicos definidos, tales como estudio de la atmósfera de los planetas del Sistema Solar, los objetos compactos emisores de rayos X - posibles agujeros negros- , las supernovas muy lejanas - que sirven de referente para conocer la edad del Universo- , las llamadas explosiones de rayos gamma, unas tremendas emisiones de energía cuyo origen se desconoce y que es preciso identificar, o asuntos astronómicos tan importantes como la formación y evolución de las galaxias y los cúmulos de galaxias (REF 7).

OSIRIS incorpora varias características interesantes y novedosas, como el uso de filtros variables. Estos filtros permiten observar de manera muy precisa una línea determinada del espectro de luz, situada en cualquier posición dentro del rango visible. Gracias a la observación de este fenómeno podemos ver cómo eran estos objetos celestes en la infancia del Universo, cuando tenía sólo entre 1.200 y 1.500 millones de años, un 10% de su edad actual. El proyecto clave, *OTELO*[4], presentado en el "Congreso de Ciencia con el GTC" (febrero 2002) se enfoca al cartografiado de objetos en emisión más amplio, profundo y numeroso del mundo. Detectará más de 10.000 objetos de distintos tipos hasta el 25% de la edad del Universo, permitiendo estudiar su evolución.

Figura 7. *Gran Telescopio Canarias, España (2006).*

El consorcio para su diseño y construcción está formado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (*IAC*), responsable del desarrollo del instrumento, y por el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (*IA-UNAM*). El equipo de ingeniería está compuesto por una veintena de personas de ambas instituciones, a las que hay que añadir más de 90 científicos de 27 instituciones de nueve países que forman el equipo científico del proyecto (REF 8).

[3] Del inglés: Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy.
[4] Del inglés: OSIRIS *Tunable Emission Line Object Survey*

1.3 Influencia de la astronomía en la óptica y la mecánica

La astronomía es una ciencia básica que tiene por objetivo entender el comportamiento físico del Universo que a partir de modelos matemáticos trata de describirlo. La principal herramienta para poder verificar estos modelos, desde el primer astrónomo de la historia hasta el más contemporáneo, ha sido la observación de los fenómenos físicos que trata de describir. Es interesante resaltar que nadie, hasta la fecha, ha logrado crear una estrella y mucho menos una galaxia en un laboratorio, es así como la observación de los objetos celestes se tiene que realizar desde la Tierra y que no se puede tener margen de error debido a que probablemente lo que se esté observando no se repita dentro de muchas generaciones. La óptica y la mecánica son dos áreas que han sido impulsadas constantemente por la astronomía (véase Figura 1.8). Tal es el caso del primer científico y astrónomo, padre del método científico, Galileo Galilei quien con un simple par de lentes y un soporte rústico para ellos logró por primera vez verificar la hipótesis de que la Tierra no era el centro del Universo. Esto fue posible gracias a que por primera vez en la historia de la humanidad logró observar el planeta Júpiter con un aumento 30 veces mayor al posible a simple vista. Galileo notó que los satélites naturales[5] del gigante gaseoso tenían un movimiento particular alrededor del planeta. Este fenómeno lo logró entender al observarlo continuamente.

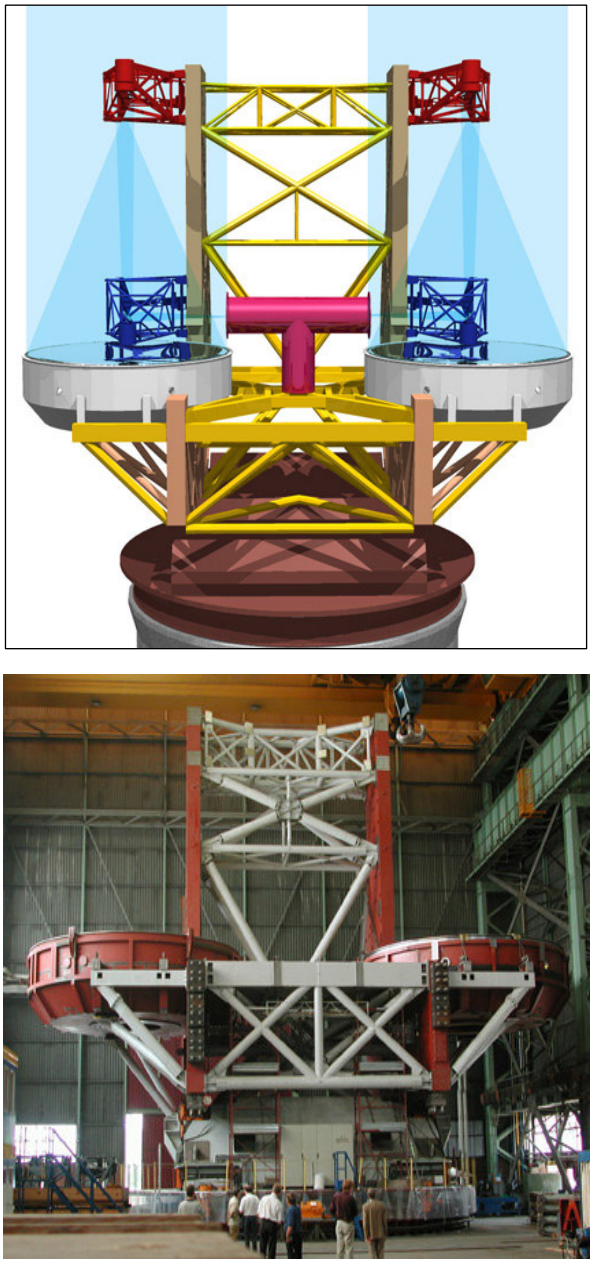


Figura 1.8. *Large Binocular Telescope, LBT, Italia, (a) modelo CAD y (b) telescopio.*

[5] Galileo solo pudo observar 4 de ellos, hoy día se reconocen 63 satélites naturales del gigante gaseoso.

1.4 Alcances de este trabajo

La meta de este trabajo es aplicar los criterios de diseño optomecánico existentes para alcanzar el diseño, fabricación, ensamble, integración y pruebas de la cámara del instrumento Astronómico OSIRIS del Gran Telescopio Canarias. En función de los resultados obtenidos proponer modificaciones a los mismos así como posibles líneas de investigación y desarrollo en el área. Los objetivos concretos que se proponen para alcanzar esta meta son:

1. Entendimiento de los objetivos científicos para los cuales se diseñó el instrumento científico OSIRIS, así como de las especificaciones y requerimientos que debe cumplir la cámara del mismo (véase Apéndice A).

2. Recopilación y estudio de los mecanismos ya probados para el soporte de lentes para aplicaciones astronómicas similares a las que plantea el proyecto OSIRIS.

3. Diseño conceptual y preliminar de la cámara que satisfagan las especificaciones y requerimientos optomecánicos establecidos.

4. Diseño mecánico y de detalle de todos los componentes del barril optomecánico de forma iterativa con el presupuesto de error del instrumento.

5. Fabricación, ensamble e integración de las celdas del barril con las lentes de la cámara.

6. Pruebas ópticas que justifiquen su correcto funcionamiento.

7. Desarrollo de manuales de ensamble, desensamble y mantenimiento de la cámara.

REFERENCIAS

1. Hecht, ***Óptica***, editorial Pearson Addison Wesley, tercera edición, España 2003.
2. Galilei Galileo, ***Sidereus Nuncius***, Italia, 1610.
3. Malacara, D., ***Óptica Tradicional y Moderna***, Fondo de Cultura Económica, Colección: La ciencia para todos, México DF, 1998.
4. García Barreto, J. A., ***Astronomía Básica***, Fondo de Cultura Económica, Colección: Ediciones científicas universitarias, México DF, 2000.
5. McMahon, R., ***Journey to the birth of the Universe***, Nature vol. 443, September 14, 2006.
6. Trochim, W. M. K., ***Structure of Research***, Research Methods Knowledge Base, 2006.
7. Fuentes, Javier, ***Camera Unit Specifications***, Instituto de Astrofísica de Canarias, España 2000.
8. Cepa, J.; Alfaro, E. J.; Bland-Hawthorn, J.; Castañeda, H. O.; Ga-Llego, J.; González-Serrano, I.; González, J. J.; Sánchez-Portal, M., **OTELO: a proposal for a GTC Key Project, Science with the GTC** (Eds. José Miguel Rodríguez Espinosa, Francisco Garzón López, and Verónica Melo Martín) Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias) Vol. 16, pp. 64-68 (2003).

2. FUNDAMENTOS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

EN ESTE CAPÍTULO se describe brevemente el comportamiento físico de la luz. El objetivo de esta sección es dar las herramientas mínimas e indispensables que debe conocer un diseñador optomecánico para poder interactuar en las diferentes etapas de diseño que implica el desarrollo de un instrumento que involucre componentes ópticos y mecánicos. Se discute la medición y caracterización del desempeño óptico y los principios de formación de imágenes para que los diseñadores puedan relacionarlos con las diferentes configuraciones, fabricación y tolerancias que apliquen a lo largo de todo el diseño para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas ópticos (véase Capítulo 3).

También se comentan los polinomios característicos que modelan las superficies ópticas, tales como los polinomios de Zernike. Estos polinomios nos permitan simular las deformaciones mecánicas de las superficies y los errores inducidos en la trayectoria de la luz debidos a las deformaciones y esfuerzos mecánicos.

2.1 Movimiento ondulatorio de la luz

La característica principal de los sistemas ópticos es su capacidad para modificar y conformar la radiación electromagnética incidente en imágenes (REF 1). Por esta razón, el entendimiento de la propagación de la luz es indispensable. Podemos definir a la luz como una onda electromagnética transversa donde los campos eléctrico y magnético vibran perpendiculares a la dirección de propagación de la misma. La relación matemática que describe al vector del campo eléctrico, E, está dada por

$$1. \quad E(z,\tau) = Ae^{i(\varpi\tau - kz)} \quad (2.1)$$

el campo eléctrico es dependiente de la posición, z, y el tiempo, τ. La amplitud de la onda es denotada por A y la fase por $(\omega\tau\text{-}kz)$, donde $k=2\pi/L$ es el número de onda y ω es la frecuencia angular de la onda de luz (véase Figura 2.1). Este modelo puede ser extendido a ondas tridimensionales planas, esféricas y cilíndricas típicas de los sistemas de imágenes.

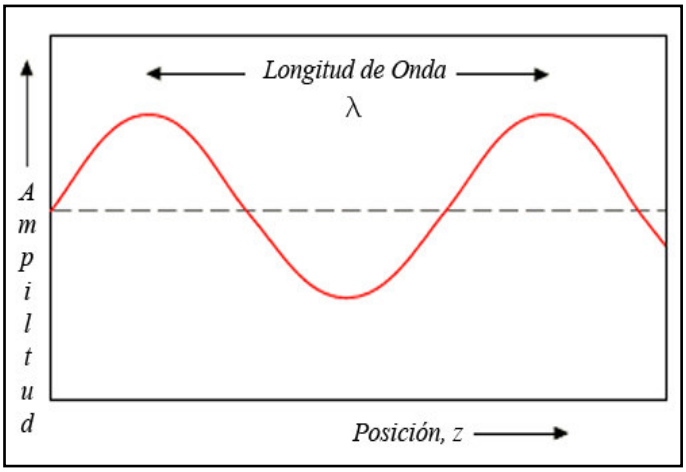


Figura 2.1. *Representación de una onda electromagnética.*

Cuando una onda electromagnética atraviesa un medio como un vidrio, la velocidad de la onda decrece. La relación de la velocidad de la onda en el vacío con respecto a la velocidad a través de un medio es conocida como *índice de refracción*, *n*. La *longitud de onda*, λ, es la distancia que recorre una onda en un ciclo. La radiación electromagnética puede ser descrita por la *frecuencia óptica*, *v*, dada en el número de ciclos por segundo (Hz), véase Tabla 2.1.

Tabla 2.1. *Índices de refracción de diferentes materiales, (http://www.matweb.com).*

Material (fabricante)	*CTE lineal a 20°C* μm/m-°C	*n*	*Transmisión en el visible, %*
Corning Vycor® 7907 UV-Blocking Glass	0.8	1.458	90 Min
Corning Vycor® 7913 UV-Transmitting Glass	0.75	1.458	92 92
Schott AF 45 Thin Borosilicate Glass	4.5	1.5275 1.5255	91.2
Schott BOROFLOAT® Borosilicate	3.25	1.463 1.481 1.472 1.489	92
Schott D 263 Thin Borosilicate Glass	7.2	1.5231 1.5255	91.7
Schott Band Pass Filter BG7	8.5	1.53	73
Schott Band Pass Filter BG12	8.6	1.53	80
Schott Band Pass Filter BG18	7.4	1.55	83
Schott Band Pass Filter BG23	8.9	1.53	87
Schott Band Pass Filter BG24A	8.5	1.55	89
Schott Band Pass Filter BG25	8.7	1.52	88
Schott Band Pass Filter BG26	8.8	1.51	92
Schott Band Pass Filter BG28	8.7	1.53	75
Schott Band Pass Filter BG38	7.5	1.54	90
Schott Band Pass Filter BG39	11.6	1.55	88
Schott Band Pass Filter BG40	11.9	1.54	90
Schott Band Pass Filter BG42	7.3	1.55	84
Schott Band Pass Filter RG9	9.8	1.54	0.4

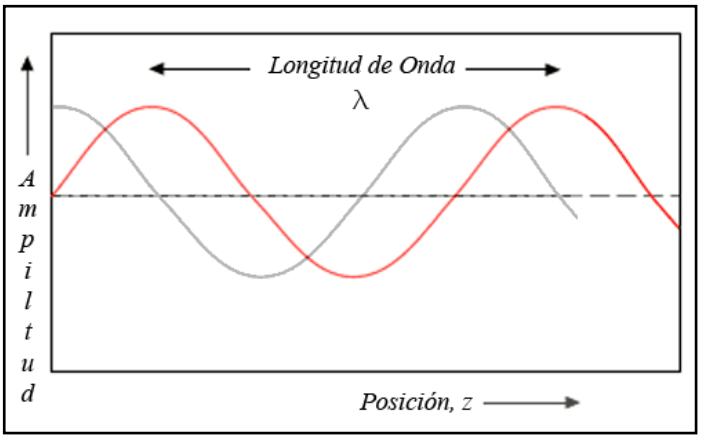


Figura 2.2. Dos ondas electro-magnéticas fuera de fase.

Se considera que dos ondas electromagnéticas están en fase cuando los picos y valles de ambas coinciden. En la Figura 2.2 se muestran dos ondas que están fuera de fase. La relación entre longitud de onda y frecuencia está dada por

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

2.2 Polarización

La luz es una onda electromagnética transversa en la cual el campo eléctrico vibra perpendicular a la dirección de propagación. Cuando la dirección del vector del campo eléctrico varía rápida y aleatoriamente es conocida como luz despolarizada (véase Figura 2.3). Por ejemplo, la luz natural es de este tipo y su campo eléctrico varía aproximadamente cada 10^{-8} segundos. La luz polarizada linealmente (o plano polarizada) describe a la luz que su vector de campo eléctrico oscila en un plano de forma conocida. En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de este tipo de luz en la cual el plano de vibración es el plano-*xz* y la dirección en la que mueve el vector del campo eléctrico es a lo largo del eje *x*.

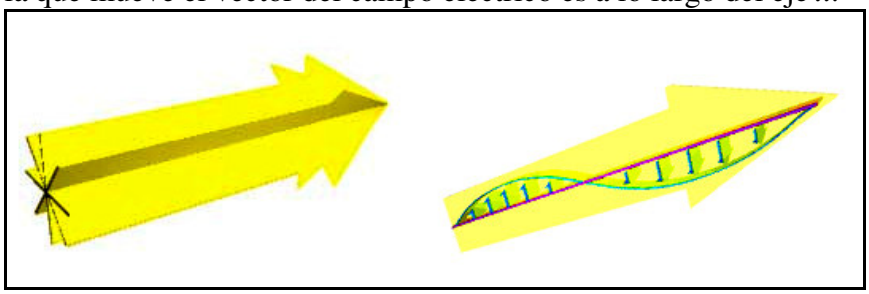


Figura 2.3. *a) luz despolarizada y b) polarización lineal.*

En general, ya que el campo eléctrico es una cantidad vectorial, se puede descomponer en sus respectivas componentes, E_x y E_y. La magnitud relativa y la fase de los componentes describen el estado de polarización. Para la polarización lineal, las componentes del campo eléctrico están en fase cuando una con otra cuando la amplitud de, E_x y E_y, a lo largo de un par de ejes arbitrarios *x* y *y* son iguales. En otras palabras, sucede cuando su suma resulta en un vector de campo eléctrico vibrando en un plano a 45º. La polarización elíptica sucede cuando, E_x y E_y, están fuera de fase (a un ángulo diferente a 45º). Un caso especial sucede cuando el ángulo fuera de fase entre ellas es de 90º conocido como polarización circular (véase Figura 2.5).

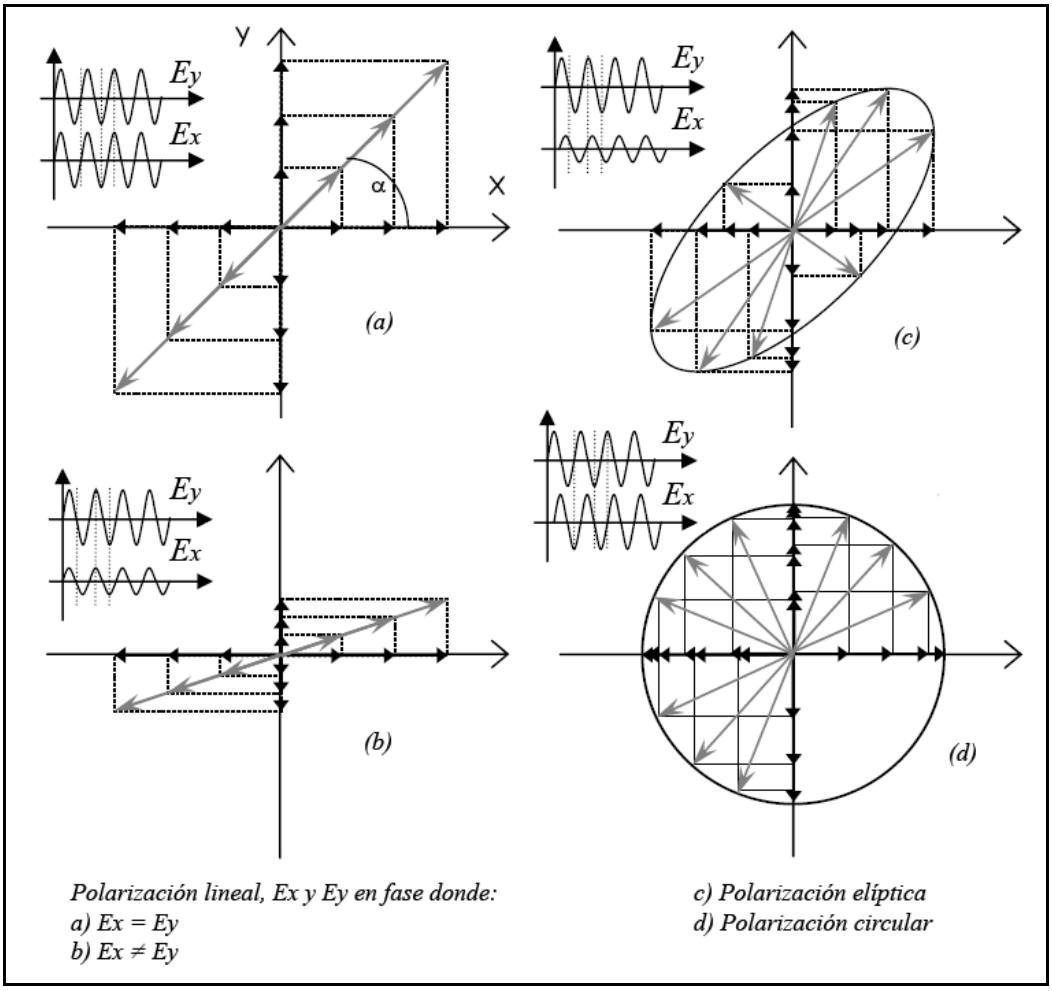


Figura 2.4. *Polarización lineal, elíptica y circular.*

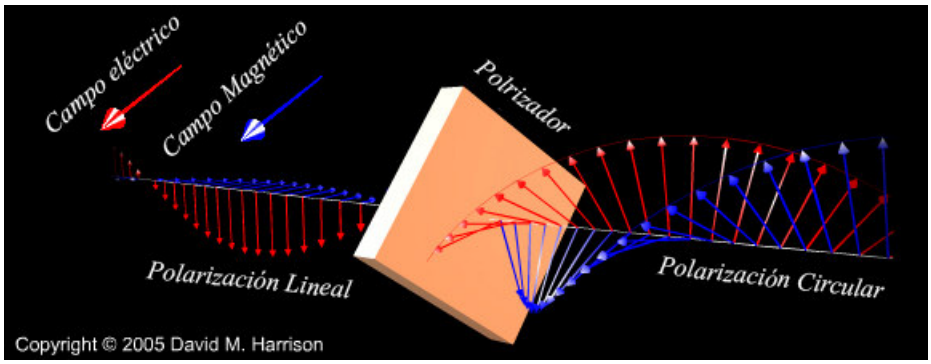


Figura 2.5. *Luz polarizada a 45° y polarización circular (90°).*

2.3 Frentes de onda

La propagación de la luz de una fuente puntual a través de un medio isotrópico y homogéneo tiene una forma esférica (véase Figura 2.6). En cualquier instante temporal, a la superficie que se forma uniendo todos los puntos de la onda de fase constante, es conocida como frente de onda (REF 2). Las superficies vecinas, también con fases constantes están separadas por la longitud de fase. Los rayos, entidades ficticias normales a cada superficie de frente de onda, son útiles para entender y analizar el comportamiento de los sistemas ópticos.

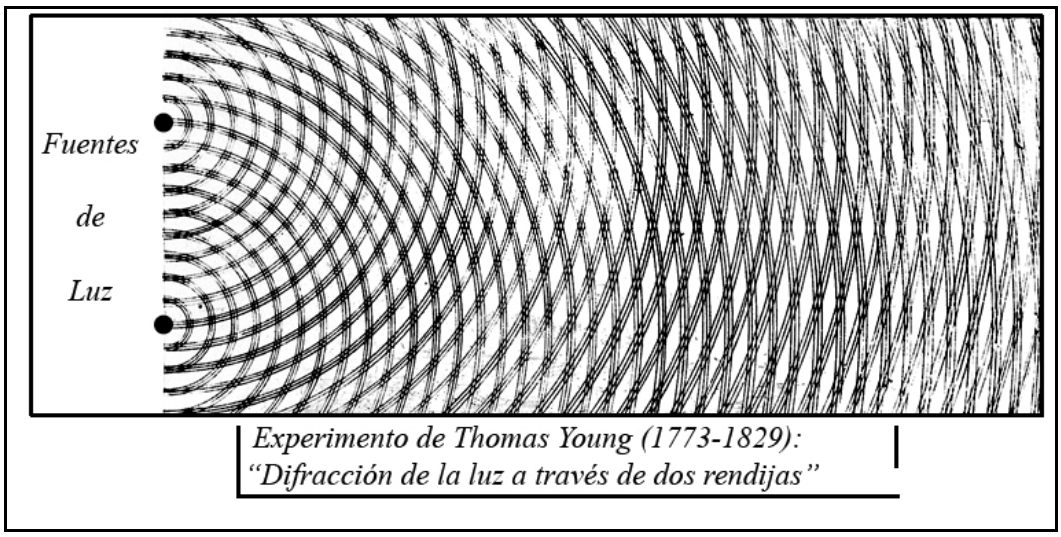


Figura 2.6. *Propagación de la luz, experimento de Young.*

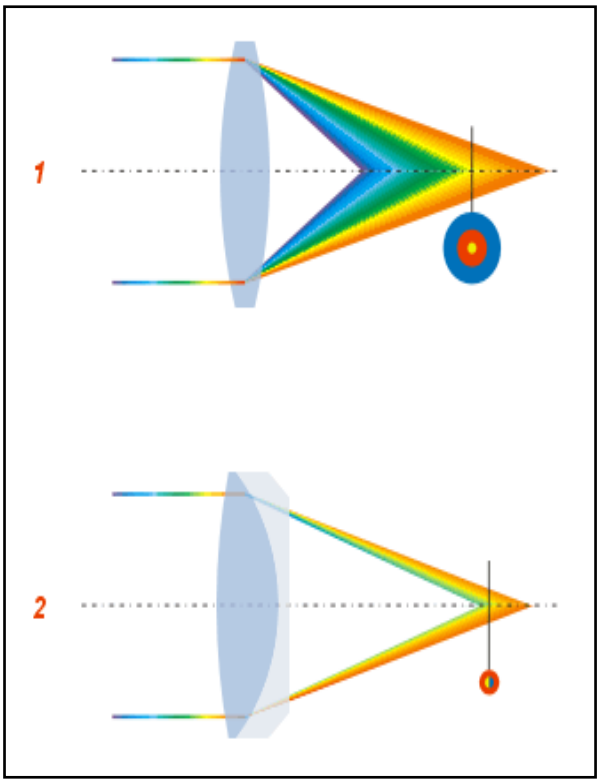
La distancia óptica que recorre un rayo es conocida como la *longitud del camino óptico*, o *OPL*[6]. Su definición está fundada como la distancia que ha recorrido un rayo de luz, *s*, multiplicada por el índice de refracción del medio en el que lo hace

$$OPL = \int_a^b n(s)ds \quad (2.3)$$

A lo largo de la superficie de un frente de onda específico, el *OPL* es el mismo para cada punto. Esta es la base del cómo son formadas las imágenes por un sistema óptico. Por ejemplo, consideremos un frente de onda esférico divergente incidente a través en un lente como el de la Figura 2.6. Después de que el frente de onda pasa a través del lente, pasa de ser divergente a convergente. Esto es posible debido a la geometría del lente, al índice de refracción y a que los haces de luz que pasan por el centro del componente óptico recorren una mayor distancia que los que pasan cerca de las orillas.

[6] Del inglés Optical Path Length.

Para que un sistema óptico forme una imagen puntual perfecta, el frente de onda debe ser esférico, y los rayos normales al frente de onda deben converger al centro de curvatura del frente de onda. La diferencia entre el *OPL* y uno del tipo esférico es conocido como el *error del frente de onda*. La diferencia a lo largo del *OPL* es conocida como la *diferencia del camino óptico*, *OPD*[7]. En la Figura 2.7 se muestra un frente de onda esférico aberrado, un tipo de aberración típico. Aquí los rayos externos enfocan en un lugar diferente que los rayos cercanos al eje óptico.



El error de frente de onda puede ser cuantificado por el error entre el pico-valle (*P-V*) de la onda y por el error de la raíz media cuadrática (*RMS*). Los errores *P-V* representan la diferencia entre la máxima y mínima del *OPD* en el frente de onda. El *rms* por lo general tiene mayor significado en la medición del error del frente de onda ya que es un valor promedio de la superficie del mismo. Una extensión simple para visualizar cómo las cargas mecánicas que deforman la superficie óptica de un lente generan errores en el frente de onda. Además, los esfuerzos mecánicos que se generan en un elemento óptico debidos a las cargas y a la variación de las condiciones de frontera como la temperatura también introducen errores en el frente de onda al provocar cambios en el índice de refracción del material.

Figura 2.7. *Error en el frente de onda aberración cromática*

Ley de refracción

La superficie de un objeto luminiscente se comporta como si constara de un gran número de fuentes puntuales, cada uno emitiendo ondas esféricas, es decir que emanan radialmente, y es en este caso cuando decimos que los rayos de luz divergen. En el caso contrario, cuando el frente de onda esférico se dirige hacia un mismo punto, los rayos serían por consecuencia convergentes.

> *"Un punto desde el cual una porción de onda esférica diverge hacia un punto o hacia el cual el segmento de onda converge, se denomina foco del haz de luz[8]."*

[7] Del inglés Optical Path diference.
[8] Referencia 4, página 151.

Una fuente puntual colocada en *P* formará igualmente su imagen en *S*, a estos dos puntos se les denomina focos o puntos conjugados. En un sistema óptico ideal cada punto de una región tridimensional tendrá su imagen perfecta en otra región; siendo el primero el espacio objeto el segundo el espacio imagen (véase Figura 2.8).

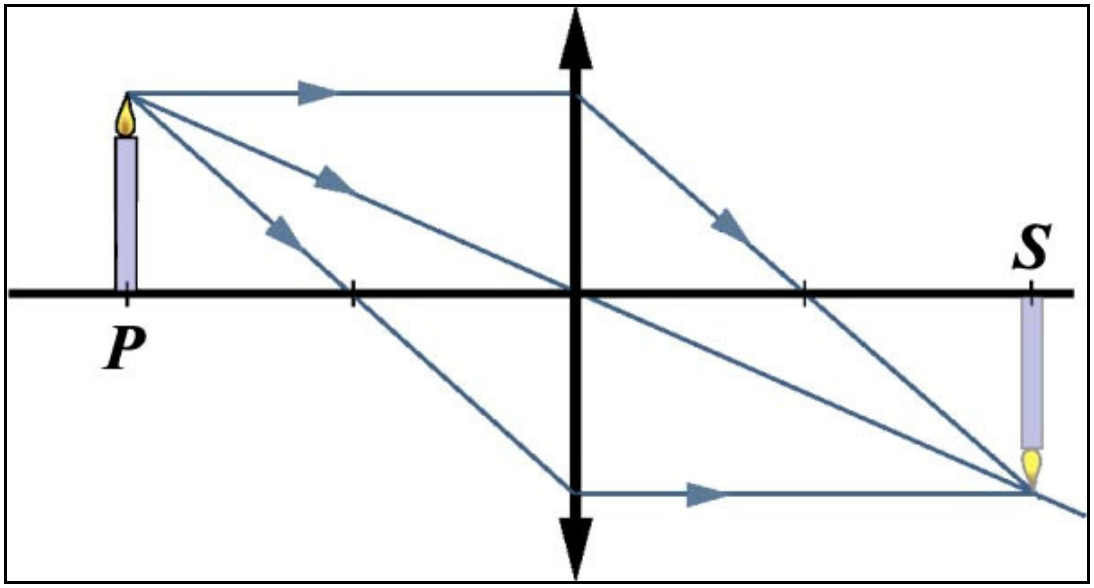


Figura 2.8. *Focos conjugados.*

En la mayoría de los casos, la función de un sistema óptico es la de concentrar y remodelar una parte del frente de onda incidente, a menudo con la intención esencial de formar una imagen de un objeto (tal es el caso de los instrumentos astronómicos). Estos sistemas se caracterizan por no poder recibir toda la luz emitida, pues un sistema solo acepta un segmento del frente de onda. Como resultado siempre habrá una desviación aparente de la propagación rectilínea incluso en medios homogéneos – las ondas serán difractadas –. El límite de operación que un sistema óptico puede alcanzar estará limitado por la difracción (siempre habrá una mancha borrosa). A medida que la longitud de onda de la energía radiante disminuye en comparación con las dimensiones físicas del sistema, los efectos de la difracción son menos importantes. En el límite conceptual cuando la longitud de onda tiende a cero, en los medios homogéneos se produce una propagación rectilínea definiéndose así el campo ideal de la óptica geométrica.

El análisis optomecánico de un sistema óptico requiere de una constante iteración entre la mecánica y la óptica geométrica. Por un lado se calculan las deformaciones y esfuerzos en los componentes ópticos, y por otro se verifica, a partir de la óptica geométrica y las especificaciones del sistema, que este comportamiento mecánico sea adecuado para el correcto funcionamiento óptico.

Diafragmas y pupilas

La comparación de la imagen mencionada con el objeto es lo que va a definir las características y calidad del instrumento. En dicha imagen podrá apreciarse una mayor o menor porción del objeto (campo); podrá aparecer ésta más o menos luminosa (luminosidad); verse mayor o menor que el objeto observado directamente (aumento) y podrá ser una representación fiel, semejante al mismo, o aparecer con defectos de representación o deformaciones (aberraciones). Esto nos lleva a considerar unos elementos fundamentales de los que dependen tales características: los diafragmas.

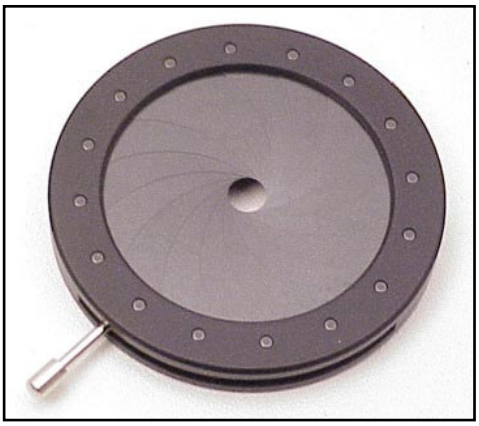


***Figura* 2.9.** *Diafragma de apertura comercial (Melles Griot).*

Diafragma de apertura y pupilas se define como el elemento material del instrumento que limita el ángulo de apertura de la imagen útil final, dada por el instrumento para el punto objeto situado en el eje del mismo. Por tanto, es el elemento que determina la luminosidad del aparato. Estas dos imágenes reciben los nombres de *pupilas* de entrada y de salida, respectivamente. Ambas son conjugadas respecto al sistema óptico que constituye un instrumento (véase Figura 2.9).

Diafragma de campo es análogamente otro elemento material del instrumento que limita la porción de objeto que aparece en la imagen dada por aquél. Sus imágenes en uno y otro espacio son llamadas de entrada y salida, definidas al igual que las pupilas. Finalmente, la calidad de la imagen requiere una buena corrección de las aberraciones de la misma, lo que conduce a una mayor o menor complicación constructiva del instrumento, en atención a las exigencias en las condiciones de utilización (véase Figura 2.10).

Figura 2.10. *Diafragma de campo comercial (Carl Zeiss)*

Óptica geométrica de los lentes

Sin lugar a dudas el sistema óptico más usado es la lente (eso sin considerar que el ojo funciona a través de ellas). *Una lente es un dispositivo refractor, es decir, una discontinuidad del medio dominante, que reconfigura la distribución de la energía emitida* (REF4 pg 152). La configuración de una lente se determina a través del remodelado necesario del frente de onda que debe realizar. Como las fuentes puntuales son fundamentales, a menudo es deseable convertir las ondas esféricas divergentes en un haz de ondas planas.

Un lente es un componente que causa que los rayos de luz converjan y se concentren o simplemente diverjan, usualmente son fabricados de vidrio o algunos tipos de plástico. El tipo más común de los lentes son los de forma esférica, los cuales son formados por superficies que tienen una curvatura esférica, esto es, las superficies de ambos lados del lente pueden ser imaginadas como parte de la superficie de dos esferas con un radio dado, R_1 y R_2, que son llamados los radios de curvatura de cada superficie (véase Figura 2.11).

La línea que une los centros de las esferas y por lo tanto los de las superficies de los lentes es llamada el *eje óptico*; en casi todos los casos este eje pasa a través del centro físico del lente. La clasificación de los lentes se hace en función de las curvaturas de sus dos superficies (véase Figura 2.12).

Figura 2.11. *Lentes y celdas de transporte de la Cámara de OSIRIS.*

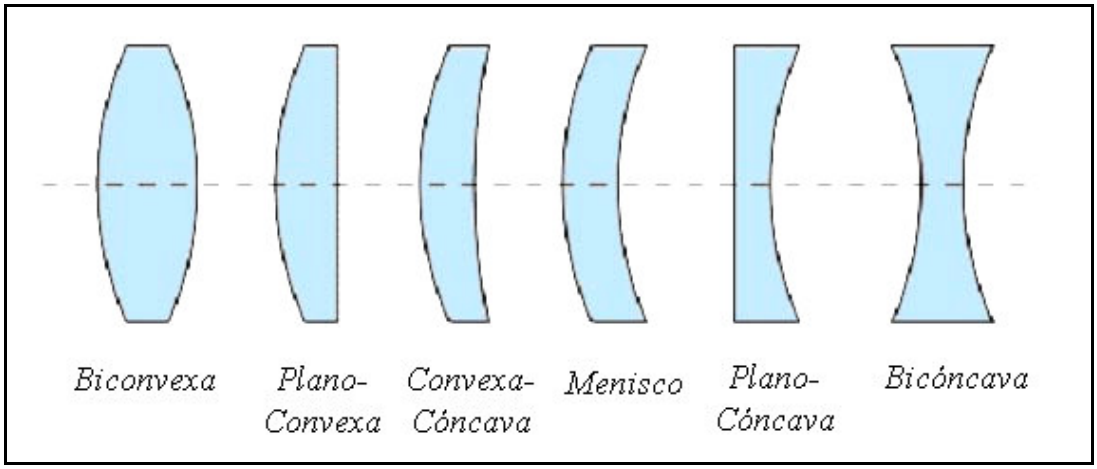


Figura 2.12. *Clasificación de las lentes.*

Si el lente es del tipo biconvexo, o plano-convexo, un haz de luz colimado o de rayos paralelos que pase a través del lente paralelo a su eje óptico, hará que los rayos converjan y sean enfocados en un punto sobre el eje a cierta distancia del lente, conocida como la distancia focal. En este caso es el lente es llamado positivo o convergente. En el caso de un lente bicóncavo, o plano-cóncavo, el mismo haz de luz divergirá (difundiéndose); este tipo de lentes también son llamados negativos o lentes divergentes (véase Figura 2.13). En el caso de un lente con dos superficies sean planas la trayectoria del haz de luz no se vería afectada.

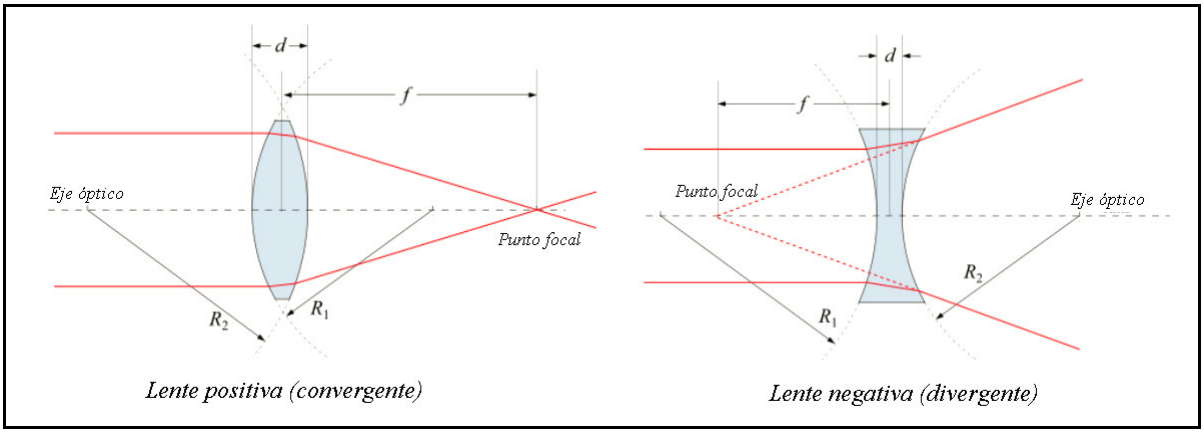


Figura 2.13. *Lentes convergente y divergente.*

El valor de la distancia focal para un lente en particular puede ser calculado con la siguiente ecuación,

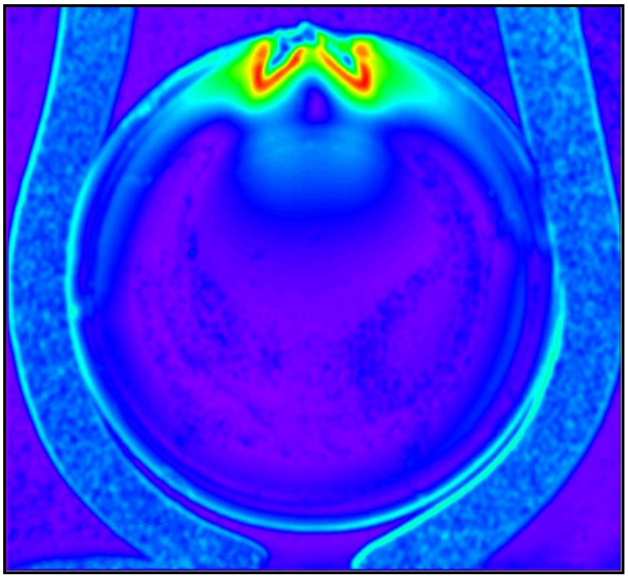
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_m} - 1\right)\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2}\right] \qquad (2.4)$$

donde, f es la distancia focal, n el índice de refracción del material del lente, n_m el índice de refracción del medio, R_1 el radio de curvatura del lente más cercano a la fuente lumínica, R_2 el radio de curvatura del lente más alejado de la fuente lumínica y d es el espesor del lente a lo largo del eje óptico y entre las dos superficies. En el caso de lentes delgadas el término d puede equivalerse a cero.

Variaciones del índice de refracción

En la instrumentación astronómica es obligado, debido a las exigencias de las especificaciones y desempeño requeridos, que el material de los lentes tenga excepcionales características. Solo como ejemplo, uno de los materiales más utilizados para este fin, es el Zerodur® cuyas propiedades físicas se resumen en el Apéndice B, y que tiene una homogeneidad e isotropía mejor que la de los metales. Este material, así como todos aquellos para lentes astronómicos, es sometido a un tratamiento térmico de recocido para la liberación de esfuerzos, en especial, aquellos esfuerzos que pueden causar anisotropía en el índice de refracción (véase Capítulo 4.2).

Aún así, en un medio isotrópico y homogéneo existe la posibilidad de que el índice de refracción intrínseco del material varíe. Los principales motivos que causan este efecto son: la variación de las condiciones atmosféricas (temperatura, presión, humedad, entre otras), de las cuales depende directamente el valor del índice de refracción, y la distribución de cargas aplicadas que pueden generar esfuerzos mayores al límite de birrefringencia[9] del material (véase Figura 2.14).



Es importante recalcar que la variación de las condiciones de frontera puede provocar que la magnitud y distribución de las cargas ejercidas cambien de manera no conocida. Es aquí donde radica la importancia de un análisis integral de los sistemas optomecánicos que garantice su correcto funcionamiento en el intervalo de operación del sistema óptico.

Figura 2.14. *Efectos birrefringentes en un lente de plástico al ser sometido a fuerzas externas, Laboratorio de Fotoelasticidad,Instituto de Cibernética, Universidad Técnica de Tallinn.*

[9] La birrefringencia o doble refracción es una propiedad de ciertos cuerpos de doblar un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos.

Principio de Huygens

Cuando un haz de luz pasa a través de un medio no uniforme, el frente de onda es distorsionado (véase Fig. 2.15). Un paso preliminar a la solución de este problema se dio en 1690 con el principio de Huygens[10] (REF 2):

> *"cada punto en un frente de onda en propagación sirve como fuente de frentes de ondas esféricas secundarias de tal modo que, al cabo de cierto tiempo, el frente de onda será la envolvente de estos trenes de onda. Si la onda que se propaga tiene una frecuencia y a una velocidad específicas a través de un medio los trenes de ondas secundarios tendrán la misma frecuencia y velocidad".*

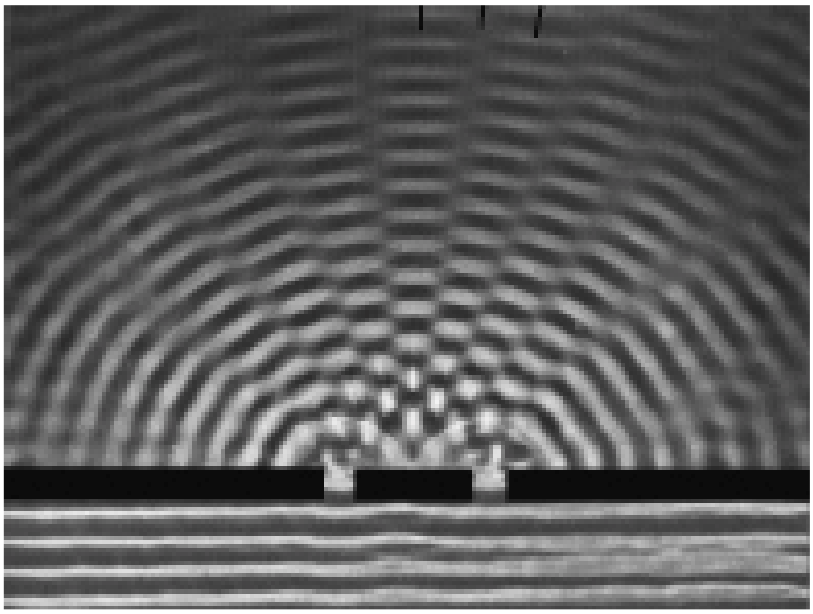


Figura 2.15. *Ejemplo del comportamiento de la luz según el principio de Huygens.*

Este principio no incorpora conceptos importantes tales como, el concepto de interferencia, esparcimiento lateral ni la anisotropía de los medios. Sin embargo, un acierto afortunado que detono el estudio de la luz y la refracción de la misma. Tal es el caso de los estudios realizados por Fresnel, Kirchhoff y muchos más. Los cuales permiten conocer el comportamiento de la luz a través de diferentes medios y formas geométricas. Su utilidad es innegable para los casos de estudio optomecánicos. Sin embargo, en este trabajo no son incluidos ya que el enfoque del mismo es sobre diseño mecánico para los soportes para un sistemas ópticos ya definidos, para mayor información consulte la Referencia 4.

[10] Christiaan Huygens (1629-1695) fue un astrónomo, físico y matemático holandés. Dos de sus más importantes aportaciones fueron la invención de un lente ocular para los telescopios y formuló la primera teoría ondulatoria de la luz.

En resumen, los rayos de luz siguen trayectorias ortogonales a los frentes de onda. Así como un grupo de rayos preservará su congruencia normal después de cualquier número de refracciones o reflexiones, siempre y cuando, su propagación sea a través de un medio isotrópico (en especial el índice de refracción para los lentes).

2.4 Calidad de imagen y desempeño óptico

Lo primero que debemos entender sobre el desempeño óptico es que un sistema óptico no puede producir una imagen que sea el duplicado exacto del objeto. Una manera simple de imaginar este fenómeno es que la imagen de un objeto puntual, nunca es un punto. Por lo tanto, la imagen que forma un sistema óptico de una fuente puntual se verá embarrada, extendida, algo parecido a una mancha. Para definir el tamaño de la imagen puntual usaremos su diámetro de extensión (diámetro de la mancha). El objetivo principal de la optimización del desempeño de muchos sistemas ópticos es el de minimizar este diámetro. Existen muchos factores que contribuyen a que esto no sea posible, tales como, difracción, aberraciones geométricas, errores de fabricación, errores de alineamiento y, por supuesto, efectos ambientales y mecánicos. Sin embargo, si todo es perfecto, la difracción limita la calidad de la imagen, por lo cual ésta es sirve de referencia para medir la calidad de la misma.

Difracción

La difracción es un fenómeno natural de la luz que ocurre cuando la luz se encuentra con un obstáculo en su camino que altera su amplitud y fase del frente de onda incidente. El obstáculo puede ser una apertura de un elemento óptico o de la estructura mecánica de soporte que causa un doblez en el haz de luz, o que se redireccione, del camino óptico predicho por las leyes de la óptica geometría (véase Figura 2.6).

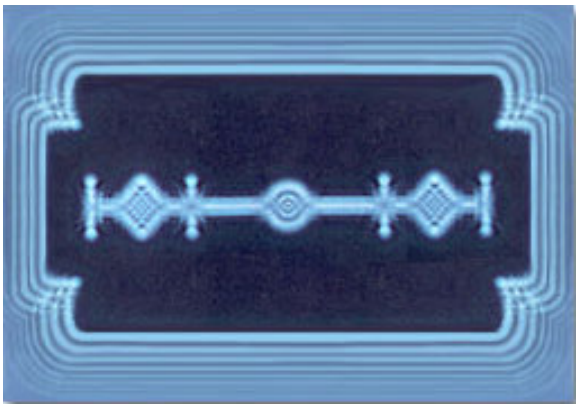


Figura 2.16. *Imagen que muestra la difracción de la luz.al pasar a través de los filos de una navaja.*

La interacción del plano incidente del frente de onda con la apertura resulta en interferencia constructiva y destructiva del frente de onda existente. La imagen producida por un lente no es un punto perfecto sino una serie de luz concéntrica y anillos oscuros. Para un sistema libre de aberraciones, la zona central de luz es conocido como disco de *Airy* y contiene 84% de la energía (véase Figura 2.16).

El diámetro del disco de *Airy* más pequeño que un sistema óptico puede producir está dado por:

$$D = 2.44\lambda(f/\#) \qquad (2.5)$$

donde *f/#* (número-*f*) es la medida de la propiedad colectora de luz de un sistema óptico[11]. Un sistema óptico que funciona al *Límite de Difracción* es aquel en el cual los efectos de la difracción son del tamaño del diámetro de la imagen borrosa. Un error aceptable en el frente de onda puede existir en un sistema óptico donde el sistema es todavía considerado al límite de difracción. El error de un frente de onda permisible está dado por el criterio de *Rayleigh*, el cual dice que el desempeño del límite de difracción es mayor que un cuarto de onda del OPD p-v. Esto corresponde a un error *RMS*[12] en el frente de onda *λ/14*.

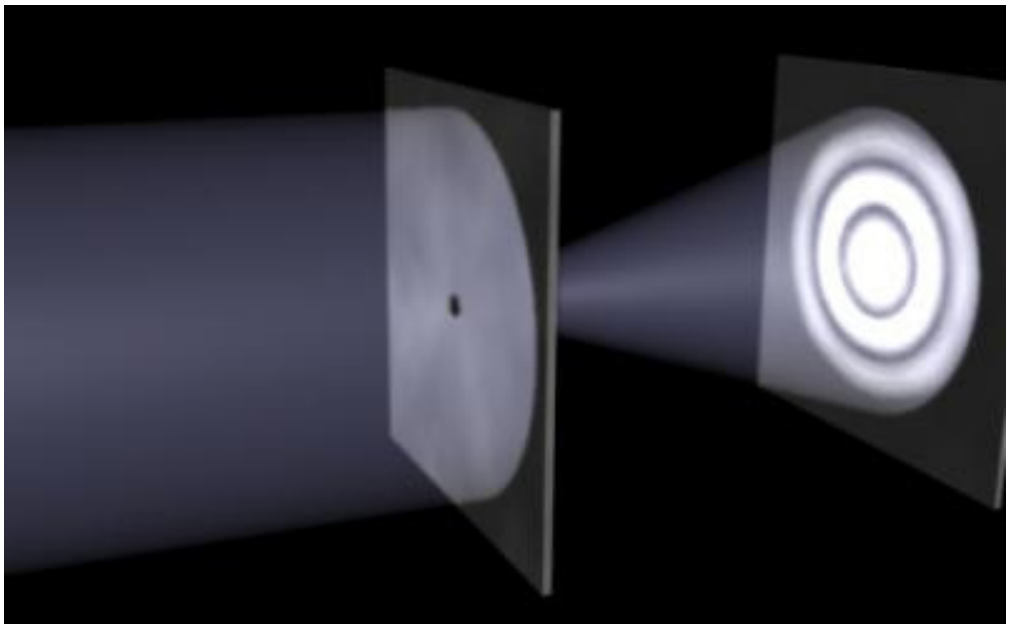


Figura 2.17 *Representación del disco de Airy.*

Medición de la imagen borrosa

Existen varias formas de medir el tamaño de las imágenes borrosas o el diámetro de las manchas para el desempeño óptico. El tipo de la métrica para el desempeño depende del propósito del sistema óptico. Cuando el tamaño de la imagen borrosa se aproxima al tamaño del disco de Airy se debe usar la métrica basada en la difracción, típico para sistemas de alto desempeño. Si el diámetro del BLUR es mucho mayor al disco de Airy, los efectos de la difracción pueden ser ignorados y entonces la métrica debe ser basada en la óptica geométrica. A continuación se describen brevemente algunos de estos métodos.

[11] Para sistemas que operan a una longitud de onda cercana a la de la luz visible (0.5 µm) es común que el tamaño del disco de *Airy* sea igual al número-*f* en µm.
[12]Del inglés *Root Mean Square*, que significa Media Cuadrática.

2.4.1.1 Diagrama de puntos

El diagrama de puntos es creado por el trazado de una serie de rayos desde un simple objeto puntual que atraviesa un sistema óptico y dibujando su intersección con el plano de la imagen. Estos diagramas están basados en óptica geométrica y no consideran los efectos de la difracción. La distribución de los puntos en el plano de la imagen es una forma de medir el tamaño del diámetro de la mancha. El diagrama de puntos es útil para determinar las aberraciones presentes en un sistema óptico ya que cada aberración presenta un patrón característico.

2.4.1.2 Función de energía encerrada

La energía encerrada es una gráfica de la energía contenida en círculos de diámetro creciente contra el diámetro del círculo. Los círculos son concéntricos y se encuentran centrados con respecto a la imagen. Un ejemplo de esta función se muestra en la Figura 2.20 para el caso óptico del instrumento OSIRIS (véase Figura 2.18).

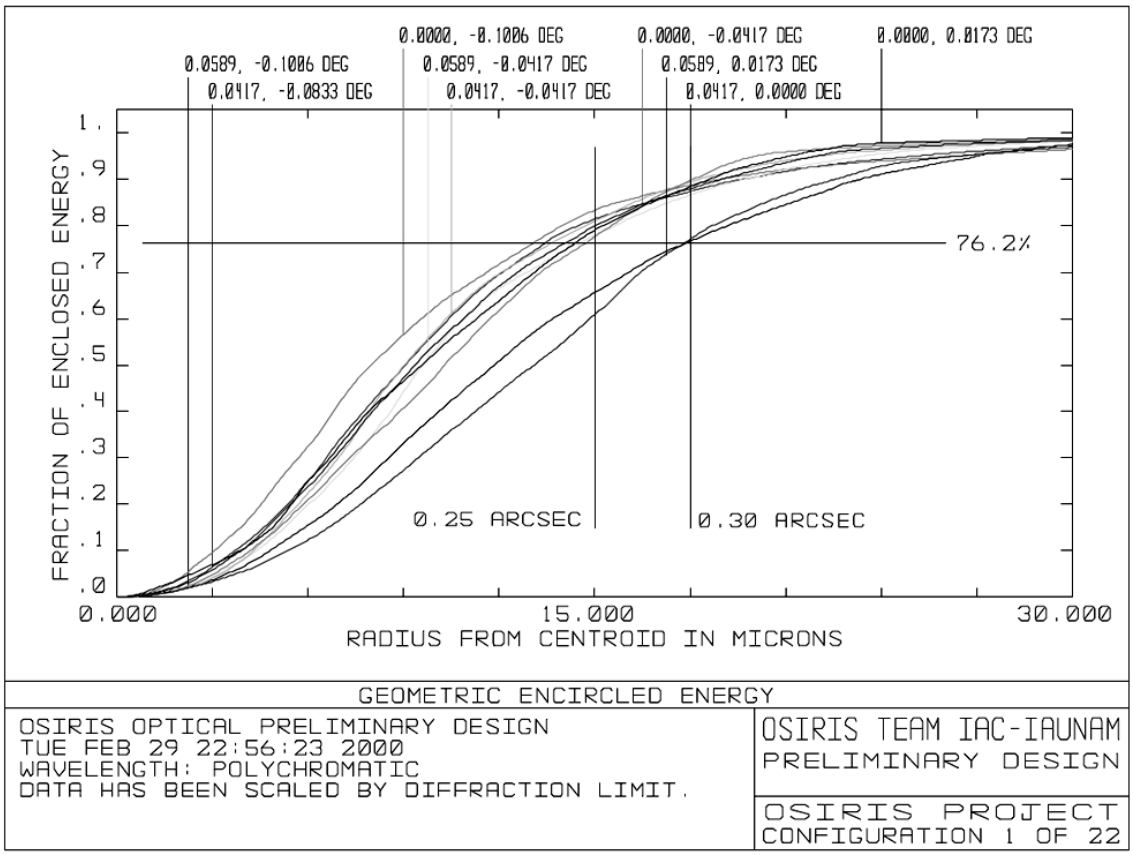


Figura 2.18. Energía policromática encerrada en un campo 7.07 minutos de arco (diagonal). La degradación de la imagen más allá de 10 minutos de arco (diagonal) se mantiene menor a 0.3 segundos de arco (FWHM).

2.4.1.3 Función de Dispersión Puntual

La función de dispersión puntual (*PSF*[13]) es otra manera de medir el tamaño y forma de una imagen de una fuente puntual. Los cálculos de la *PSF* incluyen tanto la difracción como las aberraciones geométricas. El valor de la *PSF* de un sistema óptico libre de aberraciones (véase sección II.6) se muestran en la Figura 2.19. La intensidad de la gráfica se logra a través de un factor de escala logarítmico con el objetivo de revelar la estructura anular de la función más claramente. Es importante notar que en el caso de existir aberraciones ópticas la energía se dispersa sobre un diámetro mayor que en el caso del sistema libre de aberraciones.

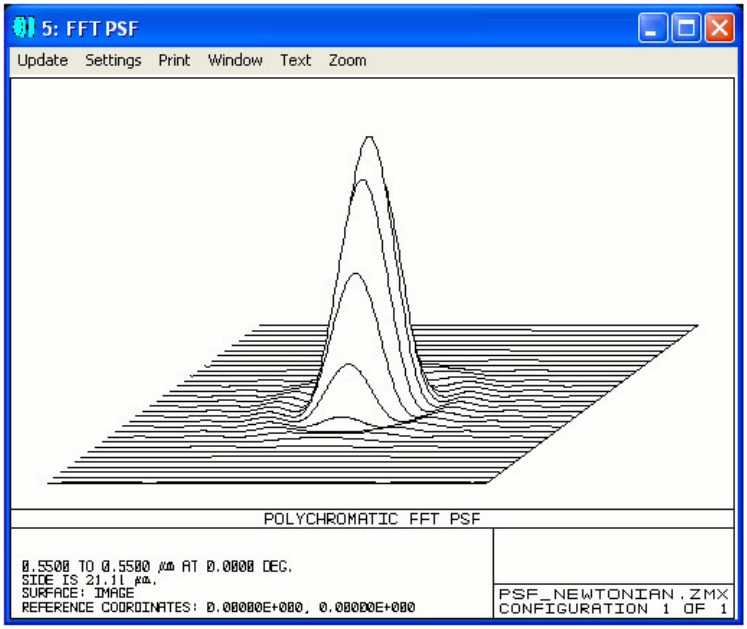


Figura 2.19. *Simulación de la Función de Dispersión Puntual para un telescopio newtoniano, tomado de los tutoriales del software ZEMAX®.*

Resolución óptica

La capacidad de un sistema óptico de poder mostrar es una medida común del desempeño óptico. Por ejemplo, el Telescopio Espacial *Hubble* puede mostrar dos monedas de 10 centavos de Estados Unidos a una distancia aproximada de 50 kilómetros. Los efectos de la difracción limitan la resolución óptica de un sistema. Así como el diámetro de los discos de Airy para cada punto de la imagen crecen, la distribución comienza sobreponerse y la resolución decrece. Así, los mismos parámetros que controlan el tamaño de los discos de Airy rigen la resolución de un sistema óptico, el número *f* y la longitud de onda de la luz. La combinación del patrón de difracción de dos imágenes puntuales en función del número *f* se muestra en la Figura 2.17. Por lo tanto, cuando decrece el número *f* de un sistema óptico, la

[13] Del inglés *Point Spread Function*

distribución de la intensidad combinada comienza a mostrar dos distintos picos que representan los dos objetos visualizados.

Función de transferencia modular o de la modulación

Una segunda y más comprensible manera de medir la resolución de un sistema óptico es la Función de Transferencia Modular o de la Modulación (*MTF*[14]). En este caso la función considera la respuesta de un sistema óptico a una distribución de intensidad sinusoidal de la variación de la frecuencia espacial. Así, cuando la frecuencia espacial de cada objeto decrece, se vuelve más difícil para el sistema óptico distinguir los picos de los valles. La habilidad de resolver se cuantifica por la razón de contraste (conocida también como modulación) la cual está dada por la ecuación:

$$\text{Contraste de la Imagen} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \qquad (2.6)$$

donde I_{max} es la máxima intensidad e I_{min} es la mínima intensidad de la imagen. Para que la imagen sea un duplicado exacto del objeto los picos tendrían un valor de uno y los valles de cero, o sea con un contraste de imagen igual a 1. Entonces, mientras la habilidad de resolver disminuye, la razón de contraste decrece y hay pequeñas diferencias en la magnitud entre picos y valles. Cuando la razón de contraste cae hasta 0, el sistema óptico no puede resolver el objeto más, y patrón sólido de intensidad resulta.

2.5 Polinomios de Zernike

Los polinomios de Zernike[15] son entes matemáticos útiles para la interpretación de muchos tipos de datos de superficies ópticas, incluyendo las deformaciones y esfuerzos mecánicos derivados del análisis por elementos finitos. Estos polinomios representan un conjunto de datos discretos formados a partir con ecuaciones tipo multiplicadas por ciertos coeficientes. En otras palabras, son una serie de polinomios ortogonales que juegan un importante papel en la óptica geométrica.

Existen polinomios de Zernike pares e impares (REF 2) definidos respectivamente como:

$$Z_n^{-m} = (\rho, \phi) = R_n^m(\rho)\cos(m\phi) \text{ y } Z_n^m(\rho,\phi) = R_n^m(\rho)\cos(m\phi) \qquad (2.7)$$

donde m y n son enteros no negativos y $n \geq m$, φ es el ángulo acimutal (en radianes) y ρ es la distancia radial normalizada. Los polinomios radiales se definen de la siguiente manera,

[14] Del inglés Modulation Transfer Function

[15] Frits (Frederik) Zernike (1888 - 1966), físico holandés ganador del premio Nobel de Física en 1953 por su invención del microscopio de contraste de fases.

$$R_n^m(\rho) = \sum_{s=0}^{\frac{n-m}{2}} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s!\left(\frac{n+m}{2}-s\right)!\left(\frac{n-m}{2}-s\right)!} \rho^{(n-2s)} \qquad (2.8)$$

y en el caso de que $n - m$ sea impar, $R_n^m(\rho) = 0$. En este trabajo solo muestran algunos ejemplos de los polinomios de Zernike (véase Figura 2.20), para mayor información consúltese REF 1 y 3.

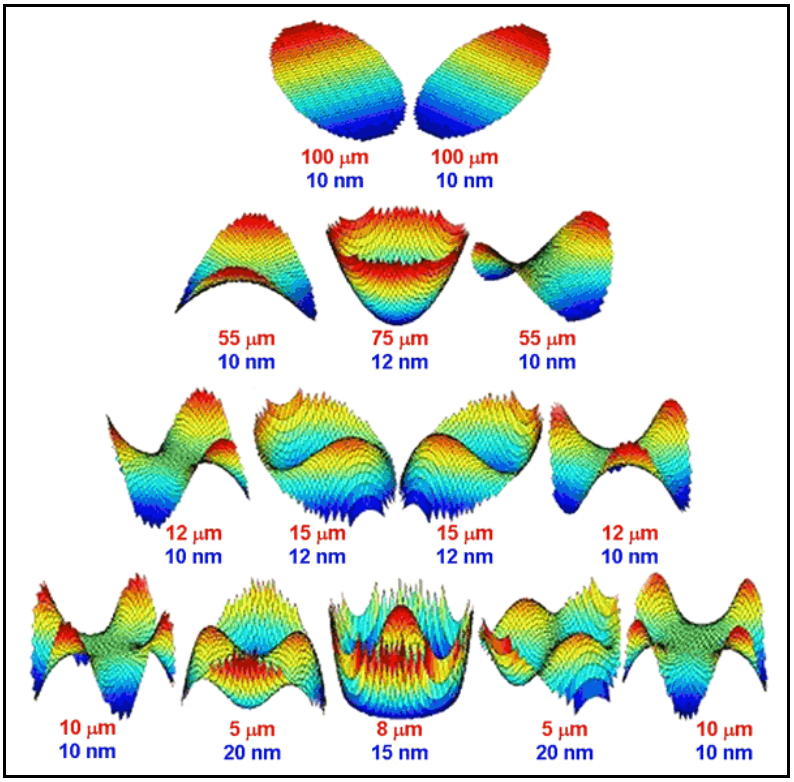


Figura 2.20. *Gráficas de los primeros Polinomios de Zernike.*

REFERENCIAS

1. Doyle, K., Genberg, V., Michels, G., *Integrated Optomechanical Analysis*, SPIE Press, primera edición, USA 2002.
2. Born y Wolf, *Principles of optics*, Oxford: Pergamon, 1970
3. Incluir referencia al arti de Zerrni
4. Hecht, *Óptica*, editorial Pearson Addison Wesley, tercera edición, España 2003.
5. Zernike, F., *Diffraction Theory of the Knife-Edge Test and its Improved Form, the Phase-Contrast Method,* Royal Astronomical Society, 1934.

3. ¿QUÉ ES LA OPTOMECÁNICA?

LOS DISEÑADORES ÓPTICOS durante muchos años se han enfrentado con el hecho de que los criterios limitantes del desempeño de los sistemas ópticos, no siempre se deben atribuir a las capacidades teóricas de diseño, sino también a la habilidad para considerar las limitaciones impuestas por el diseño mecánico y las capacidades y las posibilidades de la manufactura (REF 1). Este problema ha sido superado tradicionalmente sobre diseñando los sistemas ópticos, así es como toleraban la reducción del desempeño óptico debido a las imponderables introducidos y no previstos por el diseño mecánico.

El desempeño de los telescopios y de los sistemas ópticos en general está fuertemente ligado con los efectos mecánicos. Aún teniendo la mejor configuración óptica posible, sin un sistema de soporte adecuado para los componentes que interactúan con la luz es factible que no funcione adecuadamente.

La optomecánica es un área relativamente nueva, se evoca específicamente al estudio de la interacción física de los sistemas ópticos y mecánicos con el objetivo de garantizar el correcto desempeño de la luz a través de ellos.

A partir de un sistema óptico realizado por un diseñador óptico, la tarea de un diseñador optomecánico, comienza con la visualización de las posibles estructuras para soportar los componentes ópticos dentro de las tolerancias radiales y axiales especificadas. Esta estructura conocida como *barril* debe permitir las interfaces adecuadas para mantener la integridad y funcionamiento de la óptica y mecánica bajo múltiples condiciones ambientales y requerimientos funcionales. Adicionalmente, algunas otras áreas que conciernen al diseñador optomecánico son tales como, la unión de lentes para formar sistemas de más de un lente, técnicas de ensamble, sellado entre otras (REF 2).

Durante la fase de diseño, el diseñador óptico trabaja con el ingeniero mecánico y hace todo esfuerzo posible para minimizar los efectos inducidos por las razones de cambio debidas a las expansiones y contracciones de los materiales.

A continuación y a lo largo de este capítulo se hará un resumen de los criterios y teorías más utilizadas por los diseñadores optomecánicos para los barriles de lentes típicos en la instrumentación astronómica.

3.1 Lentes contemporáneos

En el capítulo anterior se definieron el tipo de lentes que existen. En esta sección se hace un breve resumen de los diferentes sistemas ópticos que utilizan lentes y su aplicación. Debido a la gran cantidad de sistemas existentes solamente se incluyen aquellos que tengan similitudes a las aplicaciones astronómicas. Podríamos clasificar a los componentes ópticos de muchas maneras, por ejemplo por su costo, dimensiones o bien por calidad óptica. El costo de un lente o espejo está directamente relacionado con su proceso de manufactura así como con la calidad del material utilizado para su manufactura.

Las lentes son el componente más común de los sistemas ópticos y también son el principal tema de este trabajo. En general, son utilizados para formar imágenes reales o virtuales de objetos grandes o pequeños a diferentes distancias, o bien para direccionar haces de luz. Los sistemas ópticos tienen en general más de un lente debido a su necesidad de corregir las aberraciones que pueden inducir a la luz incidente y sus formas geométricas después del pulido son esféricas o asféricas. Algunas lentes son utilizadas para que difracten la luz, sin embargo nuestro enfoque es acerca de lentes que trabajen de acuerdo a las leyes de refracción.

3.2 Dimensiones y características astronómicas de las lentes

La función principal de un telescopio es la de concentrar la mayor energía posible de un objeto luminoso distante tal como una estrella, la cual alimenta a un conjunto de instrumentos. En los telescopios astronómicos contemporáneos la óptica principal es conocida como el espejo primario, elemento que tiene la tarea de concentrar la luz. El objetivo del resto de los espejos (secundarios o terciarios) que conforman un telescopio es la de presentar la luz de una manera adecuada para poder ser registrada y procesada. Los telescopios con fines de investigación astronómica generalmente tienen un campo de visión menor al que tienen los telescopios comunes. El diseño de éstos tiende a ser para una zona espectral específica, desde el ultravioleta (*UV*) hasta el infrarrojo lejano. Una perspectiva más detallada de estos requerimientos y algunas soluciones las puede encontrar en las referencias 25 y 26. En la actualidad existen varios telescopios dedicados a la investigación astronómica que tienen espejos primarios que van desde uno a poco más de 10 metros de diámetro. La tendencia del diseño y aplicación de los telescopios ha sido, desde el inicio de su invención, que su espejo primario sea cada vez mayor. En la Tabla 3.1 se muestran los grandes telescopios que se encuentran actualmente en operación, construcción y diseño.

Tabla 3.1. *Telescopios más grandes del mundo y número de instrumentos que utilizan.*

Telescopio (número)	***Instrumentos***	***País***
KECK (2)	9	EUA
HET	3	EUA
SUBARU	7	Japón
VLT (4)	10	CE*
Gemini	12	EUA
Magellan	6	EUA
MMT	12	EUA

* Comunidad Europea

Para que un telescopio pueda cumplir con el cometido científico para el cual fue diseñado es necesario contar con una batería de instrumentos que se lo permitan. Por lo tanto, es importante desde su concepción, que tanto el telescopio como su instrumentación, estén acopladas para que el sistema óptico combinado permita el mejor desempeño posible (véase REF 19).

Los componentes ópticos de un instrumento astronómico están constituidos principalmente por: lentes, espejos, rejillas, rendijas, cámaras CCD, electrónica (software), así como de soportes y estructuras mecánicos para los mismos. La optomecánica, como se ha descrito anteriormente, tiene la tarea de garantizar que el desempeño de todo el sistema óptico no sea deteriorado por los componentes mecánicos de soporte. En específico, si la instrumentación de un telescopio tiene lentes a lo largo del camino óptico, el diseño de los barriles que soportan a estos componentes requiere de un tratamiento iterativo con el sistema óptico para garantizar, en función de las tolerancias permisibles y el presupuesto de errores asignado, el correcto funcionamiento de la óptica.

Las dimensiones de las lentes que la astronomía contemporánea requiere son variadas y dependen directamente del telescopio al que se van a acoplar y de su función óptica en el instrumento. Este trabajo está enfocado a las lentes más utilizadas actualmente, sin embargo es factible aplicar algunos de los criterios aquí expuestos a otro tipo de lentes. El desarrollo aquí planteado se enfoca a la aplicación y validación de los criterios existentes en el diseño optomecánico del barril para la cámara del instrumento científico *OSIRIS* del *GTC*. Para mayor detalle de las características geométricas de estas lentes véase el Apéndice C.

Desarrollo de la óptica

Los orígenes de la tecnología óptica datan de la remota antigüedad. Los primeros espejos se hicieron de cobre pulido, bronce, y más tarde de *especulum*, una aleación de cobre rica en estaño. Algunos especímenes del antiguo Egipto han sobrevivido - un espejo en muy buenas condiciones fue desenterrado junto con algunas herramientas del cuartel de trabajadores cerca de la pirámide de Sesostris 11 (ca. 1900 a.C.) en el valle del Nilo. Los filósofos griegos, Pitágoras., Demócrito, Empédocles. Platón, Aristóteles y otros desarrollaron varias teorías de la naturaleza de la luz. La propagación rectilínea de la luz era conocida, como lo era la ley de la reflexión enunciada por Euclides (300 a.C.) en su libro Catóptrica. Hero de Alejandría trató de explicar ambos de estos fenómenos afirmando que la luz viaja a lo largo del camino más corto entre dos puntos. Aristófanes en su sátira «Las nubes» (424 a.C.) aludía al vidrio quemador (una lente positiva). El doblamiento aparente de los objetos parcialmente sumergidos en agua se menciona en *La República de Platón* (REF 25).

La refracción fue estudiada por Cleomedes (50 d.C.) y más tarde por Claudio Tolomeo (130 d.C.) de Alejandría, quien tabuló medidas muy precisas de los ángulos de incidencia y refracción para varios medios. Es claro, según los escritos del historiador Plinio (23-79 d.C.), que los romanos también poseían vidrios quemadores. Varias esferas de vidrio y cristal que probablemente fueron usadas para comenzar fuegos han sido encontradas entre las ruinas romanas y se recupero una lente plano-convexa en Pompeya. El filósofo romano Séneca (3 a.C.-65 d.C.) notó que un globo de vidrio lleno de agua se podía usar con el fin de aumentar. Es ciertamente posible que algunos artesanos romanos hayan podido usar vidrios de aumento para facilitar el trabajo con detalle muy fino.

Por la última parte del siglo trece, Europa estaba solamente comenzando a levantarse de su estupor intelectual. Los trabajos de Alhazen fueron traducidos al latín y tuvieron un gran efecto en los escritos de Robert Grosseteste (1 175-1253), obispo de Lincoln, y en el matemático polaco Vitello (o Witelo) quienes influyeron en la reiniciación del estudio de la óptica. Sus trabajos fueron conocidos por el franciscano Roger Bacon (1215-1294) quien es considerado por muchos como el primer científico en el sentido moderno. Parece que Bacon inició la idea de usar lentes para corregir la vista y aún sugirió la posibilidad de combinar lentes para formar un telescopio. Bacon también poseía algún conocimiento de la forma en la cual los rayos atraviesan una lente. Después de su muerte, la óptica languideció de nuevo.

Sin embargo, a mediados del siglo XIII, las pinturas europeas mostraban monjes con anteojos. Por su parte, los alquimistas habían logrado una amalgama líquida de estaño y mercurio que se frotaba en la parte posterior de placas de vidrio para hacer espejos. Leonardo da Vinel (1452-1519) describió la *cámara obscura,* más tarde popularizada por el trabajo de Giovanni Battista della Porta (1535-1615). Porta discutió los espejos múltiples y las combinaciones de lentes positivas y negativas en su *Magia naturalis (1589).*

Esta sucesión de acontecimientos modestos, en su mayor parte constituyen lo que se podría llamar el primer período de la óptica. Era sin lugar a duda un comienzo triste, pero en su conjunto fue más un tiempo dedicado a aprender que a lograr avances. El torbellino de logros y la excitación vendría más tarde, en el siglo XVII[16]. A continuación se muestra un cuadro sinóptico del desarrollo de la óptica a partir de este siglo (véase Tabla 3.2):

Tabla 3.2. *Cuadro sinóptico de la historia de la óptica a partir del Siglo XVII*

Desarrollo histórico de la óptica del Siglo XVII al XIX:

Personaje	Hecho histórico	Año	Lugar
Hans Lippershey (1587-1619)	Primer diseño oficial de un telescopio refractor	1608	Holanda
Galileo Galilei (1564-1642)	Primera observación astronómica por medio de un telescopio. Galileo descubre las lunas de Júpiter.	1610	Italia
Zacharias Janssen (1588-1632)	Primer microscopio		Holanda
Johannes Kepler (1571-1630)	Posterior a Galileo observa los anillos de saturno y publica su obra *Dioptricie* (véase Nota 1).	1611	Italia
Willebrord Snell (1591-1626)	Postulado de la ley *de la refracció.*	1621	Holanda
René Descartes (1596-1650)	Leyes complementarias (véase Nota 2).	1637	Francia
Pierre de Fermat (1601-1665)	Nueva ley de la refracción, principio de tiempo mínimo.	1657	Francia
Robert Hooke (1635-1703)	Primero en estudiar patrones de interferencia.	1665	Inglaterra
Isaac Newton (1642-1727)	Teorías ondulatorio y corpuscular de la luz (véase Nota 3).	1665	Inglaterra
	Primer telescopio reflector con 30 amentos.	1668	
Cliristian Huygens (1629-1695)	Descubre el cambio de la velocidad de la luz al pasar de un medio a otro.	1667	Inglaterra
Leonhard Euler (1707-1783)	Primero en proponer los lentes acromáticos.		
John Dollond (1706-1761)	Construye el primer acroático.	1758	Inglaterra
Thomas Young (1773-1829)	Principio de interferencia (véase Nota 5).	1801	Inglaterra
Jean Fresnel (1788-1827)	Sintetizó la teoría ondulatoria (véase Nota 6).		Normandía
Michael Faraday (1791-1867)	Relación entre el electromagnetismo y la luz.	1845	
Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896)	Primera medición de la velocidad de la luz (37km/s).	1849	Francia
J. Bernar Léon Foucault (1819-1868)	Tesis doctoral acerca de la velocidad de la luz.		Francia
James Clerk Maxwell (1831-1879)	Leyes del electromagnetismo.		
George Blddell Airy (1801-1892)	Estudio sobre las aberraciones ópticas.	1871	Inglaterra
A. Abraham Michelson (1852-1931)	Medición de la velocidad de la luz (67000 millas/h).		Polonia
Edward Williams Morley (1838-1923)	Junto con Michelson proponen la velocidad de la luz constante e independiente del medio.	1881	EUA
Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)	Verificó la existencia de ondas electromagnéticas.	1888	Hamburgo

Nota 1: En una carta a Kepler, Galileo escribió:
¿Por qué no está usted aquí? ¡Qué gritos de risa debemos tener en esta gloriosa locura! Y oír al profesor de filosofía en Pisa trabajando ante el Gran Duque con argumentos lógicos, como si con encantos mágicos borrara del cielo los nuevos planetas.

[16] Véase Hecht Zajac, Óptica, 1986, referencia *i*.

Nota 2: Fragmento de La Dioptique de René Descartes:
... recordando la naturaleza que yo he atribuido a la luz, cuando dije que no es otra cosa que un cierto movimiento o una acción concebida en una materia muy sutil, la cual llena los poros de todos los otros cuerpos...

Nota 3: Texto del trabajo de Newton:
Yo me procuré un prisma triangular de vidrio para probar con él el celebrado fenómeno de los colores.
Nota 4: Texto del trabajo de Huygens
Como hay dos diferentes refracciones, yo concebí también que hay dos diferentes emanaciones de las ondas de luz...

Nota 5: Del trabajo del Dr. Thomas Young.
Cuando dos ondulaciones de diferentes orígenes coinciden perfectamente en dirección o casi coinciden, su efecto conjunto es una combinación de los movimientos que pertenecen a cada uno.

Nota 6: En las palabras de Fresnel:
Las vibraciones de una onda luminosa en cualquiera de sus puntos se pueden considerar como la suma de los movimientos elementales que le llegan en el mismo instante, por la acción separada de todas las porciones de la onda no obstruida considerada en una de sus posiciones anteriores.

El desarrollo de la óptica durante el siglo XX fue vertiginoso, a continuación se hace una breve reseña. Jules Henri Poincaré (1854-1912) fue quizá el primero en percatarse del significado de la incapacidad experimentada para observar cualquier efecto del movimiento relativo al éter – *medio que se creía que estaba presente en todo el universo*. En 1899 comenzó a hacer sus conocidas observaciones y en 1900 dijo:

¿Nuestro éter, realmente existe? Yo no creo que observaciones más precisas nos puedan revelar algo más que desplazamientos relativos.

En 1905 Albert Einstein (1879-1955) introdujo su teoría especial de la relatividad en la cual él también, muy independientemente, rechazó la hipótesis del éter:

> *"La luz se propaga en el espacio siempre con la velocidad c la cual es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor".*

Los experimentos de Fizeau, Airy y Michelson-Morley fueron entonces explicados de manera muy natural dentro del marco de la cinemática relativista de Einstein. Despojados del éter, los físicos tuvieron simplemente que acostumbrarse a la idea de que las ondas electromagnéticas se podían propagar a través del espacio libre: no había otra alternativa.

La luz era ahora visualizada como una onda auto-sustentada con el énfasis conceptual al pasar del éter al campo. La onda electromagnética quedó como una entidad en sí misma. El

19 de octubre de 1900, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) leyó un artículo ante la German Physical Society en el cual introdujo los comienzos de lo que sería otra gran revolución en el pensamiento científico: la mecánica cuántica, una teoría que abarca los fenómenos submicroscópicos.

En efecto, se encontró que estas «partículas» podían generar patrones de interferencia y de difracción precisamente en la misma forma que la luz. Entonces los fotones, los protones, los electrones, los neutrones, etc., todos ellos, tienen ambas manifestaciones de partículas y de ondas. La relatividad liberó a la luz del éter y mostró la afinidad entre masa y energía. Las que parecían ser dos cantidades casi antitéticas ahora se hicieron intercambiables. La mecánica cuántica siguió adelante para establecer que una partícula de momento p, tiene una longitud de onda asociada A tal que $p = hIA$ (tenga o no tenga masa en reposo). El neutrino o partícula neutra con masa en reposo igual a cero, fue postulado por razones teóricas en 1930 por Wolfgang Pauli (1900-1958) y verificada experimentalmente más tarde en la década del cincuenta. Las imágenes sencillas de trozos de materia submicroscópicos se hicieron insostenibles y la dicotomía onda-partícula se disolvió en una dualidad.

La mecánica cuántica también trata la manera en la cual la luz es absorbida y emitida por los átomos. Supongamos que hacemos que un gas brille calentándolo o pasando una descarga eléctrica a través de él. La luz emitida es característica de la estructura de los átomos que constituyen el gas. La espectroscopía, que es una rama de la óptica que tiene que ver con el análisis espectral, se desarrolló a partir de las investigaciones de Newton. William Hyde Wollaston (1766-1828) hizo las primeras observaciones de las líneas obscuras del espectro solar (1802). Debido a la forma de rendija de la abertura generalmente usada en los espectroscopios, la salida consistía en bandas angostas y coloreadas de luz, las llamadas líneas espectrales. Independientemente, Joseph Fraunhofer (1787-1826) amplió mucho el tema. Después de descubrir accidentalmente la línea doble del sodio, comenzó a estudiar la luz solar e hizo las primeras determinaciones de longitudes de onda usando redes de difracción. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) y Robert Wilhelm Bunsen (18111899), trabajando conjuntamente en Heidelberg, establecieron que cada tipo de átomo tenía su propia firma en un arreglo característico de líneas espectrales. En 1913 Nicis David Bohr (1885-1962) expuso una teoría cuántica precursora del átomo de hidrógeno, que podía, sin embargo, predecir las longitudes de onda de su espectro de emisión.

Ahora se entiende que la luz emitida por un átomo se debe a sus electrones exteriores. Un átomo que de alguna manera absorbe energía (ejemplo, vía colisiones) pasa de su configuración usual, conocida como el estado estacionario, a lo que se llama un estado excitado. Después de algún tiempo finito se relaja para volver al estado estacionario y los electrones vuelven a su configuración original con respecto al núcleo, liberando el exceso de energía a menudo en la forma de luz. El proceso es del dominio de la teoría cuántica moderna que describe los detalles más pequeños con increíble precisión y belleza.

El florecimiento de la óptica aplicada en lo que ha transcurrido de la segunda mitad del siglo veinte, representa un renacimiento en sí mismo. En la década del 50 varios investigadores comenzaron a mezclar la óptica con técnicas matemáticas y los puntos de vista de la teoría

las comunicaciones. Justamente como la idea del momo lineal provee otra dimensión con la cual visualizar aspectos de la mecánica, el concepto de frecuencia espacial es una forma nueva y rica de apreciar un amplio rango de fenómenos ópticos. Unidos por el formalismo matemático del análisis de Fourier, este énfasis contemporánea tenido gran trascendencia. De interés particular es la te de la formación y evaluación de imágenes, las función de transferencia y la idea de filtrado espacial (REF 25).

El advenimiento de las computadoras digitales en tiempos recientes, ha permitido que el estudio de la óptica se haya movido al frente del pensamiento científico y tecnológico con un torbellino de actividad, una serie notable de logros y una promesa casi deslumbradora de cosas por venir. La antigua y venerable ciencia, construida en la estructura magnífica de la teoría electromagnética, nunca ha perdido su atractivo general ni su aplicabilidad. Aun así, estamos en medio de una excitante metamorfosis teórica y técnica (del prefacio de la Referencia 25).

3.3 Propiedades mecánicas y térmicas del vidrio

Los materiales ópticos[17] son sustancias sólidas que son transparentes en el intervalo óptico del espectro electromagnético. Su principal aplicación es para transformar, modificar o direccionar la luz que incide en ellos, ya sea en las regiones ultravioleta (*UV*), visible (*VIS*) o infrarroja (*IR*). Gracias a la invención del láser en la década de los sesentas y a su rápido desarrollo se inició un vertiginoso cambio en los materiales ópticos. Así los ópticos de la época vieron crecer rápidamente la lista de nuevos materiales que podían utilizar, incluyendo algunos exóticos que poco se conocía sobre ellos (REF 7).

Las propiedades mecánicas de los materiales ópticos deben ser de interés para los diseñadores ópticos ya que durante el proceso de fabricación pueden arrojar pistas importantes para su formado, generado y pulido. Por otro lado, los diseñadores optomecánicos deben considerar algunos parámetros de relevancia para el diseño, tales como: *densidad*, *módulo de elasticidad*, *módulo de torsión*, *razón de Poisson*, *coeficiente de expansión térmica* y *coeficiente óptico de esfuerzos* (REF 8, 9 y 10).

Densidad

La densidad de los productos que ofrece comercialmente al mercado varía desde 2.39 g/cm3 (NBK10) hasta 6.03 g/cm3 (SF66). En la mayoría de los casos a mayor densidad el valor del índice de refracción incrementa. La densidad está principalmente determinada por la composición química del vidrio, sin embargo, es influenciada en pequeñas cantidades por el proceso de liberación de esfuerzos. Por otro lado, debido a la expansión térmica de estos materiales la densidad decrece conforme la temperatura incrementa (REF 10). Para que un

[17] Apenas hace poco más de treinta años el término "material óptico" era sinónimo de vidrio óptico, sin embargo, aunque poco comunes, ya existían materiales cristalinos con fines ópticos.

diseño optomecánico funcione adecuadamente debe contemplar en todo momento el peso de las lentes que soporta y las deformaciones mecánicas que induce. La distribución de esfuerzos no solo depende de la distribución de masa sino también de la geometría de la lente. Es indispensable verificar por medio de análisis integral (óptico y mecánico) el efecto de la gravedad para poder garantizar el correcto funcionamiento del instrumento.

Módulo de elasticidad, de torsión y razón de Poisson

El vidrio muestra un comportamiento frágil-elástico a temperaturas menores a la del punto de transformación del mismo. La deformación que sufre es proporcional al esfuerzo que está sometido de acuerdo con la ley generalizada de Hooke. Si una barra es sometida a un esfuerzo σ, la elongación relativa resultante está dada por:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \qquad (3.1)$$

donde E es el módulo de elasticidad (módulo de Young). Y como en el caso de los materiales que tienen un comportamiento elástico, la relación entre el adelgazamiento de su espesor y su elongación es llamada razón de Poisson, definida por:

$$\mu = \frac{\Delta t}{t} \Big/ \frac{\Delta l}{l} \qquad (3.2)$$

La torsión es caracterizada por el módulo de torsión G, también conocido módulo de cortante. Las propiedades E, G y μ son constantes características de cada tipo de vidrio y dependen directamente de la composición química del mismo (véase Ecuación 3.3)

$$\mu = (E/2G) - 1 \qquad (3.3)$$

El módulo de elasticidad es medido usando técnicas de ultrasonido que determinan las frecuencias naturales de vibración por medio de una onda transversa de resonancia (~1 khz) en una fina barra recocida del material. Gracias a este método se puede conocer la elasticidad adiabática. La precisión de estas mediciones oscila entre el ± 2%. El módulo de torsión es medido por la determinación de la torsión natural de oscilación. Los módulos de Young de los vidrios ópticos tienen valores comprendidos entre 51 GPa (SF66) a 126 GPa (N-LASF21). En general, los vidrios que contienen plomo presentan menores valores de rigidez que los que contienen lantano (REF 11).

En algunas aplicaciones prácticas ocurre que los vidrios ópticos están sometidos a esfuerzos mecánicos, tal es el caso de las ventanas de instrumentos que tienen campanas de vacío. Por otro lado, en el caso de los soportes mecánicos que posicionan la óptica de cualquier sistema óptico, cuando se presenta un cambio de temperatura y los coeficientes de expansión y de conductividad térmicas del vidrio y el metal no tienen los mismos valores pueden aparecer

esfuerzos localizados. Este mismo fenómeno sucede con el acoplante que se usa para pegar lentes[18].

Coeficiente de expansión térmica

El *CTE*[19] se define como el cambio relativo del tamaño del material como respuesta a un cambio de temperatura. El valor de este coeficiente tiene dependencia de la temperatura, por esta razón es necesario tenerlo en cuenta en sistemas extremadamente sensibles y/o que trabajan bajo intervalos de temperatura donde este coeficiente no es lineal. La Figura 3.1 muestra la medición del *CTE* de varios materiales ópticos de la empresa SCHOTT, uno de los fabricantes más grandes del mundo y la instrumentación astronómica (REF 27).

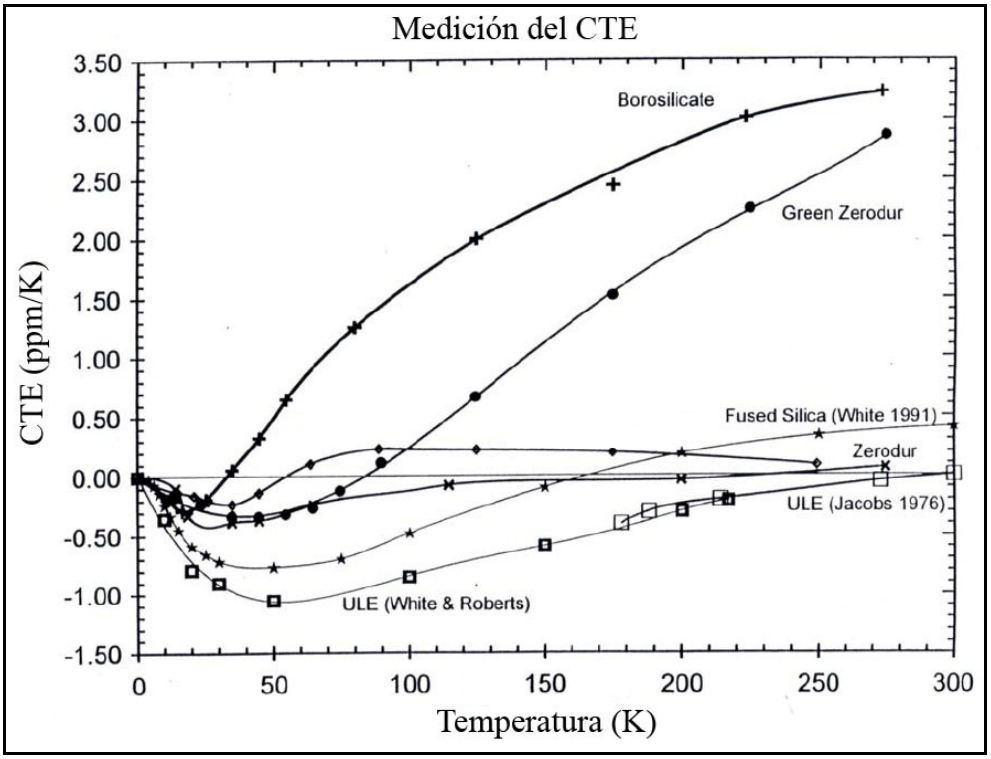


Figura 3.1. *Medición del CTE de varios materiales ópticos entre 19 K y 300 K.*

El coeficiente lineal de expansión térmica, α, está dado por la relación:

$$\alpha = \frac{1}{l}\left(\frac{\partial l}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{3V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \qquad (3.4)$$

[18] Las empresas ópticas realizan este tipo de pruebas para los vidrios ópticos que producen solo por petición explícita del consumidor. Para mayor detalle véase la referencia

[19] Del ingles, *Coefficient of Thermal Expansion*.

donde l es la longitud, V es el volumen y T es la temperatura (la derivada es a presión constante P).

El esfuerzo interno, σ, que se genera en un pedazo de vidrio debido a diferencias de temperatura, ΔT, pueden ser estimados como primera aproximación usando la siguiente relación:

$$\sigma = \frac{E \cdot \alpha}{1-\mu} \cdot \Delta T \qquad (3.5)$$

Este esfuerzo es proporcional al módulo de Young y al *CTE*, por esta razón, los vidrios ópticos con valores considerables de estas dos propiedades son muy sensibles a los choques térmicos y tienen que ser manejados con extrema precaución (REF 15). Los defectos de fabricación de un vidrio óptico, tales como identaciones y burbujas, pueden provocar que el material sufra de una fractura cuando sea sometido a cierto esfuerzo. En la Referencia 14 puede encontrar algunos modelos matemáticos experimentales para estimar los valores del esfuerzo máximo permisible así como los factores de seguridad para evitar fracturas en el material.

Coeficiente óptico de esfuerzos

La luz se propaga en materiales transparentes a una velocidad, v, la cual es menor que su velocidad en el vacío, c (aproximadamente 300 000 km/h) (REF 8). En un material isotrópico que no está sometido a ningún tipo de carga el índice de refracción, $n=c/v$, es independiente de la orientación del plano vibración de la onda (REF 16). En el caso específico de los vidrios ópticos, cuando son sometidos a una carga, se convierten en materiales anisotrópticos ópticamente y el índice de refracción se convierte en direccional. El cambio del índice está relacionado directamente con las cargas aplicadas a las superficies ópticas de los componentes que comprimen la óptica y producen esfuerzos elásticos en el material. Como es bien sabido, una fuerza aplicada en un área pequeña puede producir esfuerzos muy elevados y provocar que un material frágil se rompa, o bien, que presente un fenómeno conocido como *birrefringencia*[20].

Este fenómeno afecta la velocidad de propagación de las componentes perpendicular y paralela de la luz polarizada que pasa a través del material, así que estas componentes estarán fuera de fase. La magnitud de la birrefringencia que ocurre por unidad de área en una muestra particular que está sometido a ciertos esfuerzos depende del *coeficiente óptico de esfuerzos* del material. Este parámetro puede ser encontrado en los catálogos de los fabricantes de vidrio óptico. La birrefringencia es un parámetro importante en sistemas ópticos que utilizan luz polarizada, tales como, polarímetros, la mayoría de los

[20] También conocido como heterogeneidad en el índice de refracción.

interferómetros, muchos sistemas láser y cámaras de alto desempeño (REF 17). En este mismo Capítulo se desarrolla el tema de los esfuerzos de birrefringencia con más detalle.

3.4 Consideraciones ambientales

Es esencial para diseñar un instrumento astronómico discutir e identificar las condiciones ambientales bajo las cuales trabajará. Es menester este proceso para que las especificaciones y requerimientos sean satisfechas en todo el intervalo propuesto para el cual fue ingeniado, e importante para poder evitar el diseño, desde etapas tempranas, un instrumento utópico imposible de fabricar.

Las condiciones más importantes a ser consideradas son la temperatura, presión, vibraciones e impactos. Así como las fuerzas externas ejercidas sobre el instrumento, tanto estáticas como dinámicas, que pueden causar que algunos componentes se deformen, sufran un cambio dimensional o incluso fallen. Estos cambios de configuración pueden causar desalineamiento, esfuerzos mecánicos no deseados, birrefringencia o incluso la ruptura de los componentes sometidos a estas cargas. Otras consideraciones importantes incluyen la humedad, corrosión, contaminación, ataques biológicos, abrasión, erosión e incluso radiaciones de alta energía, las cuales pueden impedir el adecuado desempeño del instrumento.

Por estas razones, una tarea importante que deben abordar tanto los usuarios finales, diseñadores e ingenieros de sistemas, es la de definir las condiciones a las cuales estará el instrumento expuesto en operación, almacenaje y transporte, tan pronto como sea posible en el proceso de diseño para que se tomen las precauciones debidas para minimizar sus efectos de una manera adecuada (REF 17).

En la actualidad existen normas internacionales que permiten conocer de manera certera y eficiente las condiciones ambientales bajo las cuales operará un instrumento en diferentes lugares. Hay una notoria variedad en función de la aplicación del instrumento tales como, militares, espaciales y astronómicas (véanse Referencias 18 a 21). En este trabajo se omiten condiciones ambientales de equipo que opere bajo estándares militares y espaciales, enfocándonos específicamente a las astronómicas. Si se requieren conocer las condiciones ambientales extremas a las que pueden operar diversos sistemas véase Vukobratovich (REF 22).

Temperatura

Los valores de la temperatura a ser considerados son el intervalo, los choques y los gradientes térmicos, tanto de operación, almacenaje, transporte e incluso de supervivencia. Las especificaciones y requerimientos de estos efectos varían según la aplicación para la que sea diseñado el instrumento. Por ejemplo, en el caso de equipo militar el intervalo de operación varía desde -54°C hasta 52°C con un intervalo de almacenamiento y transporte

mayor que va desde -62°C hasta 71°C. Los equipos comerciales son diseñados con intervalos de operación y supervivencia menores. Estos valores de temperatura y forma en que varía dependen de dos factores principales en el entorno astronómico. El primero está ligado directamente a los objetivos científicos para los cuales es diseñado el instrumento. El segundo a las condiciones climáticas del lugar donde se planean hacer las observaciones de los fenómenos físicos para los cuales es diseñado (REF 23).

Existe una técnica conocida como compensación térmica (REF 24) que permite al diseñador incluir elementos mecánicos para corregir los defectos en la imagen que genera el cambio de la temperatura durante la operación. Sin embargo, generalmente el efecto que producen los gradientes térmicos no puede ser compensado.

Presión

La presión se manifiesta en los instrumentos ópticos principalmente debido a la relación que existe entre el cambio del índice de refracción del aire al variar su densidad. La atmósfera terrestre va cambiando de densidad conforme la altitud aumenta. Asimismo, varía con la presencia de otros gases, humedad y otros agentes contaminantes. En ocasiones extremas los componentes ópticos pueden sufrir distorsiones elásticas que afecten a la imagen producida o incluso daños irreparables debido a cambios de presión abruptos. Es frecuente también que un instrumento sometido a cambios constantes de presión barométrica sufra de degradación en su desempeño óptico. En casos menos críticos pero igual de importantes, si los componentes ópticos no son sujetados debidamente los cambios de presión pueden provocar movimiento relativo de los mismos, provocando una vez más degradación.

Vibraciones e impactos

Tanto las vibraciones como los impactos provocan la aplicación de fuerzas mecánicas al instrumento. Estas fuerzas provocan que el instrumento o algunos de sus componentes se desplacen con respecto a su posición natural de equilibrio. Estos desplazamientos pueden ser corregidos con la aplicación de fuerzas restauradoras donde se puede incluir la fuerza elástica interna de los materiales de los componentes o gracias a la fuerza de gravedad. Si la fuerza desequilibrante es periódica los sistemas tenderán a oscilar alrededor de su punto de equilibrio causando problemas con el transcurso del tiempo. Si las fuerzas son repentinas y temporales, se conoce como impacto. Fenómeno muy común durante el transporte de los instrumentos hasta el lugar donde van a ser operados.

Todas las estructuras tienen frecuencias naturales de vibración a las cuales todos sus componentes oscilan mecánicamente con específicos modos de vibración. La aplicación de una fuerza intermitente cuya frecuencia se aproxime a los valores particulares de vibración de la estructura (o que sean harmónica a ésta), puede provocar resonancia. En este fenómeno la amplitud de oscilación de los componentes incrementa su valor hasta que se suscita un amortiguamiento o falla por ruptura. El diseñador no puede tener conocimiento de toda la

gama de posibles fuerzas que pueden ser aplicadas al sistema, por esta razón las estructuras de los instrumentos son diseñadas lo suficientemente rígidas para que puedan soportar la mayor cantidad de excitaciones externas para evitar que el sistema entre en resonancia. Un criterio de diseño usualmente aplicado en la instrumentación es que la frecuencia natural de vibración de cada componente aumente un factor de 2 en cada interfaz (estructura a monturas, monturas a óptica, etcétera) que tiene (REF 25).

Actualmente una manera eficiente de alcanzar un diseño exitoso, que satisfaga sus especificaciones de vibración y de impacto, es conociendo el cómo el instrumento va a reaccionar a las excitaciones externas. Herramientas analíticas (i.e. software), que constantemente evolucionan su capacidad como es el caso del análisis por el método de los elementos finitos, nos permiten modelar el diseño y predecir su comportamiento bajo excitaciones variables en el espacio tiempo (REF 26-27). Algunas de estas herramientas tienen interfaces de procesamiento con software de análisis óptico. Así es como se puede lograr un estudio integral optomecánico entre efectos mecánicos-térmicos-ópticos (REF 24 pg27).

Humedad y otros factores

Para poder optimizar la resistencia a la humedad, corrosión y contaminación de un instrumento óptico, es necesario utilizar materiales compatibles para su fabricación; ensamblar los componentes en un ambiente limpio y seco; y proponer sistemas de sellado para evitar al máximo flujos con el mundo exterior (REF 17).

Protección limitada puede ser provista a un instrumento óptico sometido a radiaciones de alta energía tales como, rayos gama y *x*, neutrones, protones y electrones. Sin embargo, la mejor forma de lograr esta protección limitada es a través de la correcta elección de los vidrios ópticos protegidos contra la radiación.

Paralelamente al estudio de las condiciones atmosféricas, a las que estará sujeto el instrumento, se deben incluir otros factores como son: crecimiento de hongos y bacterias, abrasión y erosión que pueden sufrir sus componentes debido al medio en el que están. En períodos prolongados de tiempo, estos factores pueden afectar adversamente la transmisión y la calidad de la imagen.

Pruebas ambientales

Las pruebas ambientales son relevantes para asegurar el correcto funcionamiento del instrumento previo a ser enviado al lugar donde se va a instalar. Estas pruebas se realizan por separado o de manera conjunta dependiendo de las capacidades que tiene cada laboratorio, y obviamente, de las características de las mismas. Lo ideal es que el instrumento una vez ensamblado en su configuración final sea probado debidamente.

Aunque en casos específicos las pruebas de subsistemas son aceptables para garantizar el funcionamiento del mismo. Debido a los costos que tienen los instrumentos astronómicos es un error no realizar estas pruebas antes de aceptarlo.

Existen varias guías estandarizadas para las pruebas ambientales de instrumentos, en específico, los ópticos tienen como base las normas *ISO 9022*: *Environmental Test Methods*. Estas detalladas especificaciones definen los tipos de pruebas y su severidad en una variedad de métodos.

3.5 Sistemas clásicos de sujeción de lentes y espejos

Los sistemas de sujeción, también conocidos como monturas (véase Figura 3.2), ejercen precargas sobre los lentes que soportan. Las precargas aplicadas a las superficies de componentes ópticas producen esfuerzos elásticos en la estructura interna del material. Éstos son particularmente no deseables debido a que pueden generar distorsión en la imagen y en algunos casos, cuando el material es frágil, pueden provocar rupturas. Por otro lado, las monturas se encuentran bajo la acción de excitaciones externas que pueden generar que el sistema falle.

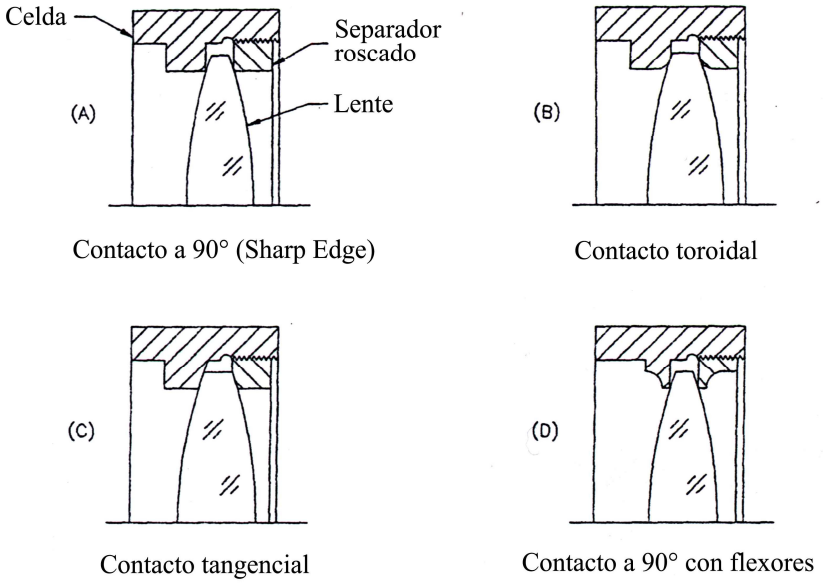


Figura 3.2. *Diversas monturas de soporte para lentes (REF13pgXXX).*

Las monturas pueden ser clasificadas en términos de la forma que restringen el movimiento y las condiciones de frontera que generan a las componentes ópticas. Una clasificación general es propuesta en la Referencia 24 (pg. 99), sin embargo en esta tesis se propone una modificación a ésta para que sea general. Así podemos clasificar a las monturas optomecánicas de la siguiente forma: inestables, cinemáticas y redundantes.

Inestables: se refiere a sistemas de soporte que tienen varios grados de libertad libres. No tienen una solución analítica y simplemente sirven de posicionadores manuales.

Cinemática: aquellos sistemas que funcionan restringiendo los suficientes grados de libertad para que el sistema de soporte no tenga redundancias mecánicas y sea posible encontrar su solución. El análisis de estas monturas se puede realizar de múltiples maneras analíticas y aproximadas. Se recomienda que en las primeras etapas conceptuales los modelos sean abstractos e idealizados lo más posible. Esto permite la toma de decisiones rápidas y certeras sin la necesidad de realizar sofisticados modelados (por elementos finitos) que requieren de una inversión mayor de tiempo (véase Figura 3.3).

Redundantes (o hiperestáticos): sistemas sobre-restringidos a los cuales no es posible predecir confiablemente su comportamiento.

Figura 3.3. *Montura Cinemática de la empresa Edmund Scientific© modelo J53-040.*

Tolerancias y errores de fabricación

En los sistemas optomecánicos las condiciones de frontera propuestas entre los componentes mecánicos y las ópticas dependen directamente de los procesos de fabricación y de las tolerancias dimensionales y geométricas posibles. Por ejemplo, las referencias mecánicas y

la calidad de los acabados superficiales permiten el correcto alineamiento del eje óptico, o bien, que el sistema sea axisimétrico.

Una lente astronómica requiere de una calidad mejor respecto a las lentes que se utilizan en otros sistemas tales como los anteojos o binoculares. La razón de esta diferencia es principalmente a la sensibilidad de los detectores (*CCD*) y los tiempos de exposición. Solo por mencionar algunos números, el tiempo de diseño y fabricación de la lente *S1* de la Cámara del instrumento *OSIRIS* (véase Apéndice C), llevó casi dos años de procesos iterativos. Su fabricación se realizó con ayuda de equipo especializado de pulido y manualmente por un técnico con más de 35 años de experiencia en el tema. Cada superficie se medía constantemente con ayuda de interferometría óptica y sus tolerancias superficiales eran nanométricas, al menos 10 veces mejor que cualquier método tradicional de fabricación mecánica (véase .Figura 3.4).

Para mayor detalle con respecto a las tolerancias de los diferentes tipos de vidrio consúltese la página de Internet: www.schott.com, en la sección de óptica para la astronomía.

Figura 3.4. *Imagen de la lente S1 de la Cámara de OSIRIS. CAMBIAR*

3.6 Criterios de diseño y de falla optomecánicos

En esta y todas las áreas del conocimiento el mejor criterio de diseño es la experiencia adquirida por trabajos previos realizados. La óptica ha sido desarrollada a través de centurias

y el conocimiento acumulado es rico, diverso y bien clasificado. Así mismo, la mecánica ha evolucionado de igual manera, aunque de manera separada. Sin embargo, hoy día en la instrumentación astronómica no se puede si quiera imaginar la separación entre estas dos grandes áreas.

Existen diversos autores que gracias a su experiencia adquirida en toda una vida han propuesto criterios de diseño y de falla optomecánicos. Paul Yoder (1927) en sus libros *Opto-Mechaninal Design Systems* y *Mounting Optics in Optical Instruments* propone una serie de ecuaciones experimentales y empíricas que ayudan a prevenir las fallas de los sistemas ópticos (REF .13 y 16). Por otro lado, existen empresas que se dedican a la fabricación de componentes ópticos que han invertido en desarrollos optomecánicos, algunos ejemplos son: CARL ZEIS, fundada por Ernst Abbe en Alemania en el año de 1891, SCHOTT fundada en 1952 también en territorio Alemán en las instalaciones de una empresa óptica de la ex-Unión Soviética. En la década de los ochentas empezó la gestión de las primeras empresas especializadas en la optomecánica. Sin embargo, es necesario aclarar que el desarrollo del conocimiento que realizan lo guardan para ellas mismas.

3.7 Tensor de esfuerzos ópticos o birrefringente

Cuando se analizan los esfuerzos de birrefringencia es típico calcular el nivel máximo de esfuerzo y aplicar la ecuación escalar de retardo de la onda de la diferencia óptica de la trayectoria (Optical Path Difference).

$$OPD = C * T * S \qquad (3.6)$$

donde C = Coeficiente óptico de esfuerzo
T = Espesor del componente
S = Nivel máximo de esfuerzo

Esta ecuación nos lleva directamente al análisis del estado de esfuerzos y sus efectos ópticos que son producidos en los lentes por sus monturas. Se asume que la carga máxima en el lente es conocida y que el estado de esfuerzos y su magnitud en la estructura interna del lente deben ser predichos en el análisis de birrefringencia[iii].

Desde un punto de vista puramente mecánico, solamente el esfuerzo que puede provocar ruptura o deformación del lente son de interés, y estas cantidades pueden ser estimadas de manera muy aproximada de las soluciones analíticas.

Por otro lado, desde una perspectiva óptica, la determinación del efectos de los esfuerzos en el desempeño óptico es una tarea más evasiva ya que el estado de esfuerzo tridimensional que se presenta en cada sección del lente deber ser determinado.

El tensor general del estado de esfuerzos en coordenadas polares para cada punto de un cuerpo está dado en la Ecuación 3.8. Para cada punto existen tres planos perpendiculares para los cuales los términos cortantes desaparecen y solamente las componentes normales permanecen.

Estas tres componentes son conocidas como los esfuerzos principales, los cuales se muestran en la Ecuación 3.9. Los esfuerzos principales del estado de esfuerzos es determinado a partir de transformaciones del tensor general de esfuerzos.

$$[\sigma]=\begin{bmatrix}\sigma_{rr} & \tau_{r\theta} & \tau_{rz}\\ \tau_{\theta r} & \sigma_{\theta\theta} & \tau_{\theta z}\\ \tau_{zr} & \tau_{z\theta} & \sigma_{zz}\end{bmatrix} \qquad [\sigma]=\begin{bmatrix}\sigma_{11} & 0 & 0\\ 0 & \sigma_{22} & 0\\ 0 & 0 & \sigma_{33}\end{bmatrix} \qquad (3.7)$$

Una representación gráfica de esta transformación se muestra en la Figura 3.5 y se conoce como elipsoide de esfuerzos de Lame. El semi-eje de la elipse representa el esfuerzo principal y la superficie define el dominio de todos los posibles estados de esfuerzo en cada punto. Los esfuerzos secundarios principales, σ_1 y σ_2, pueden ser definidos para cualquier valor de σ_{zz} que recae en el eje z (véase Figura 3.9b).

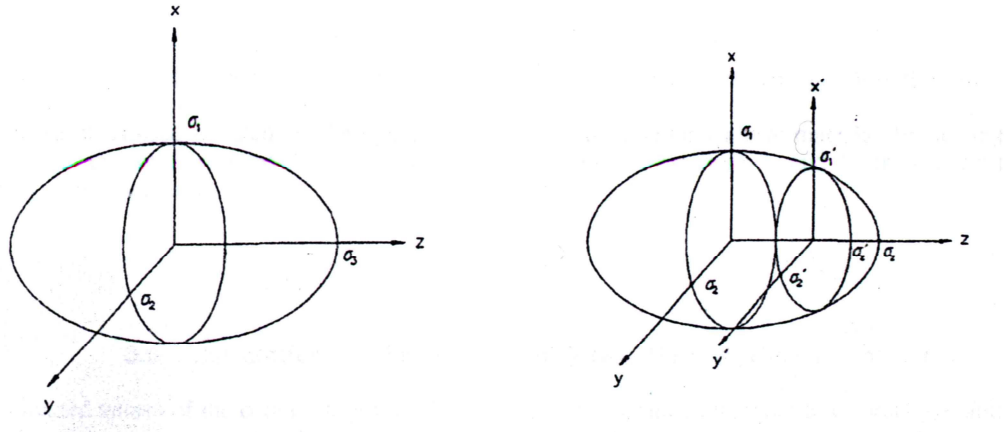


Figura 3.5 *Elipsoide de esfuerzos de Lame y esfuerzos principales secundarios.*

Por ejemplo, en el caso de un arillo separador que hace contacto anular completo con una lente convexa, produce un estado de esfuerzos axisimétrico en el lente. Dejando que el eje z sea el eje óptico del lente, el tensor de esfuerzos para esta configuración en particular está dado por la Ecuación 3.10, donde r y θ son las direcciónes radial y tangencial respectivamente. El término σ_{zz} es debido principalmente al esfuerzo compresivo de Hertz (véase Referencia vii) y los componentes σ_{rr} y $\sigma_{\theta\theta}$ el resultado debido al efecto de Poisson al aplicar la línea de la carga Hertziana.

Utilizando el concepto de esfuerzos secundarios principales, el tensor axisimétrico puede ser representado como se muestra en la Ecuación 3.11. En este caso, σ_1 y σ_2 son los esfuerzos secundarios principales que son perpendiculares a la propagación del haz del luz, mientras que las componentes normal y cortante, σ_{zz} y τ_{z1}, son paralelas a la dirección de propagación.

$$[\sigma]=\begin{bmatrix}\sigma_{rr} & 0 & \tau_{rz}\\ 0 & \sigma_{\theta\theta} & 0\\ \tau_{zr} & 0 & \sigma_{zz}\end{bmatrix} \qquad [\sigma]=\begin{bmatrix}\sigma_1 & 0 & \tau_{1z}\\ 0 & \sigma_2 & 0\\ \tau_{z1} & 0 & \sigma_{zz}\end{bmatrix} \qquad (3.8)$$

Para el estado de esfuerzos en un material birrefringente las leyes ópticas relacionan el estado de esfuerzos en cada punto con el índice de refracción. La forma clásica de esta relación se muestra en la Ecuación 3.12, donde n_1, n_2 y n_3 son los índices principales de refracción, C es el coeficiente óptico de esfuerzos y σ_1, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales en cada punto.

$$n_1 - n_2 = C(\sigma_1 - \sigma_2) \qquad n_1 - n_3 = C(\sigma_1 - \sigma_3) \qquad n_2 - n_3 = C(\sigma_2 - \sigma_3) \qquad (3.9)$$

Los índices de refracción de un material cristalino anisotrópico pueden ser representados de manera similar al elipsoide de Lame. Esta construcción es conocida como *elipsoide de índices* para un cristal y se muestra en la Figura 3.6a. La relación de esfuerzos ópticos es representada en la Figura 3.6b y demuestra relación lineal entre esfuerzos principales e índices de refracción. Esta relación nos permite la determinación de los índices de refracción para cualquier punto una vez que el estado de esfuerzos es conocido.

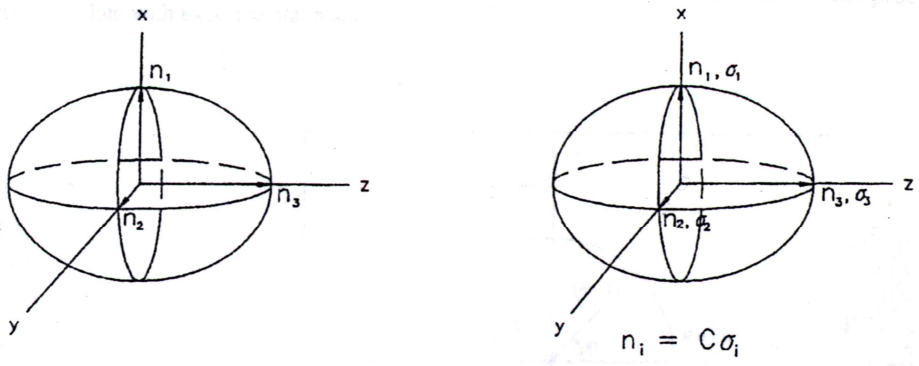


Figura 3.10 *(a) Elipsoide de índices y (b) relación con el esfuerzo óptico*

Una forma más práctica para calcular el cambio del índice de refracción en un punto como función del índice nominal, el coeficiente de óptico de esfuerzo y los esfuerzos principales secundarios se muestra en la Ecuación 3.13.

$$\Delta n = -0.5 * n_0^{\ 3} * [C * (\sigma_{1-}\sigma_2)] \qquad \Delta n = -0.5 * n_0^{\ 3} * [C * \tau_{12}] \qquad (3.10)$$

Es importante hacer notar que solamente las componentes perpendiculares a la propagación de la luz afecta el índice de refracción para ese particular haz de luz. La componente en *z*, la cual es el esfuerzo de compresión de Hertz no tiene efecto en la propagación de dicho haz.

El ejemplo anterior solamente ilustra el modelado matemático de un arillo separador para un lente, ahora imaginemos el estudio del sistema completo de retención de un lente. Conocer las componentes del tensor de esfuerzos para cada punto de este lente sería una tarea muy difícil, y en algunos casos imposible, si se hace por medio de modelos analíticos o por medio de experimentación. La forma más eficiente para hacer esto es por medio de simulaciones con Elementos Finitos para conocer dicho estado de esfuerzos.

Otra manera de hacer un cálculo de los esfuerzos aproximados en superficies ópticas es a partir de ecuaciones empíricas; en la Referencia 13 se proponen varias opciones para éstos. Es importante mencionar que los valores obtenidos con dichas ecuaciones involucran exclusivamente ciertos componentes del tensor de esfuerzos, esto es debido a su naturaleza experimental (véase Apéndice C). Su principal limitante es que no es posible hacer un cálculo de esfuerzos que involucre a todas las excitaciones externas simultáneamente.

3.8 Análisis integral optomecánico

El comportamiento mecánico en un cuerpo continuo está definido por ecuaciones diferenciales, las cuales son usualmente imposibles de resolver en problemas reales con geometrías complejas. Dos métodos aproximados comunes para resolver estos fenómenos físicos son: diferencias finitas y elementos finitos. Actualmente la técnica más utilizada para el estudio de estructuras ópticas es: *Análisis por Elementos Finitos* (*FEA*, del inglés *Finite Element Analysis*). En este trabajo se incluye un estudio crítico de las capacidades y limitantes de esta técnica (también conocida como *Método de los Elementos Finitos*) en la optomecánica, no se incluye una descripción de la forma en que funciona.

El análisis integral de un sistema optomecánico es aquel que involucra la óptica y la mecánica. Su objetivo es incorporar bajo el mismo sistema de ecuaciones diferenciales una solución conjunta que permita evaluar el comportamiento de la luz cuando atraviesa un medio óptico. Las ecuaciones diferenciales de este fenómeno físico en las lentes no han sido acopladas del todo en las ecuaciones constitutivas y en las funciones de forma que utiliza el *FEA*. Hasta la fecha se han desarrollado, a partir de los polinomios de Zernike, los modelos

que simulan las deformaciones de las superficies ópticas debido a las diferentes condiciones de carga a las que están sujetas las lentes junto con los efectos ópticos que generan. Sin embargo, aún no existe un método que permita predecir el comportamiento de los rayos de luz al atravesar una lente cuando se presentan efectos birrefringentes.

El análisis integral optomecánico de un sistema de precisión debe considerar; el presupuesto de errores, la atermalización y los modelos matemáticos (analíticos, experimentales o aproximados) existentes. A continuación se incluye una breve descripción de cada uno de ellos, este trabajo no pretende que sea una guía para su uso.

Presupuesto de errores

El presupuesto de errores es una herramienta que permite evaluar el desempeño de un sistema antes de su fabricación. Consiste en asignar ciertos porcentajes del error total permisible a cada uno de los sistemas o áreas que estén implícitos en el funcionamiento del mismo. Así, por ejemplo, en el caso del diseño de una cámara óptica lo podemos dividir en: óptica, mecánica y electrónica; los cuales a su vez en: propiedades de los materiales, diseño, tolerancias de fabricación, tolerancias de metrología, errores de medición e incluso en variables no consideradas, entre muchos otros casos. Cada uno de los subsistemas propuestos en el presupuesto de errores deberá ser analizado de manera cuantificable para verificar que el impacto que tengan en el desempeño total. La evaluación de cada rubro considerado se deberá hacer hasta el nivel de detalle que se considere adecuado. En este trabajo no se incluye el desarrollo del presupuesto de errores del instrumento OSIRIS, para mayor detalle al respecto se recomienda ver la Referencia 1 del Capítulo 4.

Atermalización

Este concepto se refiere a lograr que un sistema mantenga su desempeño dentro de cierto intervalo aún cuando la temperatura de sus componentes y del medio varíe. Por ejemplo, si existe un gradiente térmico entre los primeros lentes de una cámara y los últimos, la variación del índice de refracción no deberá afectar la calidad de imagen más allá de los valores especificados.

REFERENCIAS

1. Jones, G. E., *High Performance Lens Mounting*, Proc. of SPIE Vol. 0073, Quality Assurance in optical and Electro-Optical Engineering, Editorial L.R. Baker, Enero 1975.
2. Bayar, M., *Lens Barrel Optomechanical Design*, Optical Engineering Vol. 20 No.2, pg. 181-186, Marzo 1981.
3. Karow, H. H., *Fabrication Methods for Precision Optics*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1993.
4. Neuroth, B., *The properties of Optical Glass*, Springer, Alemania, 1995.
5. Sawyer, Kevin A., *Contact Stresses and their Optical Effects in Biconvex Optical Elements*, Proc. Of SPIE Vol. 2542, Optomechanical and Precision Instruments Design, ed. A. E. Hatheway (september 1995).
6. Schott, Technical information, *Optics for Devices*, Alemania, Julio 2004.
7. ISO 9385, *Glass and glass ceramics-Knoop hardness test, 1990*.
8. ISO 12844, *raw optical glass – Grindability with diamond pellets – Test method and classification, 1999*.
9. ISO 7884-8, *Glass-viscosity viscosimetric fixed points-determination of annealing point, part 1-8, 1986*.
10. SCHOTT, Technical Information TIE-33: *Design Strength of optical glass and Zerodur*.
11. SCHOTT, Technical Information TIE-27: *Stress in optical glass*.
12. ASTM Designation: D 4093 – 95, *Standard Test Method for Photoelastic Measurement of Birefringence and Residual Strains in Transparent or Translucent Plastic Materials*, 1995.
13. Yoder, P., *Mounting Optics in Optical Instruments*, SPIE Press The International Society for Optical Engineering, Washington USA, 2002.
14. U.S. MIL-STD-210, *Climatic Information to Determine Design and Test Requirements for Military Systems and Equipment*, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington.
15. ISO Standard 10109, *Environmental Requirements*, International Organization for Standardization, Geneve.
16. Yoder, P., *Opto-Mechanical System Design*, segunda edición, Marcel Dekker, New York, 1993.
17. Parks, R.E., *ISO Environmental Tesing and reliability Standards for Optics*, SPIE Proceedings, Vol. 1993, 32, 1993.
18. Vukobratovich, D., *Optomechanical design Principles*, Cap. 2 de *Handbook of Optomechanical Engineering*, CRC Press, Boca Raton, 1997.
19. OSIRIS Camera Barrel specs
20. OSIRIS CAMERA PTC
21. Steinberg, D.S., *Vibration Analysis for Electronic Equipment*, Wiley, New York, 1973.
22. Genberg, V., *Structural Analysis of Optics*, Cap. 8 de *Handbook of Optomechanical Engineering*, CRC Press, Boca Raton, 1997.
23. Hatheway, A.E., *Review of Finite Element Analysis Techniques: Capabilities and Limitations*, SPIE *Critical Review* Vol. 4198, 158, 2000.
24. Doyle, K.B., *Integrated Optomechanical Analysis*, SPIE Press, Washington, 2002.
25. Hecht, *Óptica*, editorial Pearson Addison Wesley, tercera edición, España 2003.
26. Stepp, L., *Ground-based and Airborne Telescopes*, SPIE, Vol. 6267.
27. SCHOTT, Technical Information TIE-37: *Thermal expansion of Zerodur.*

4. BARRIL DE LA CÁMARA DE OSIRIS

EL DISEÑO Y FABRICACIÓN del barril de la cámara, localizada en el instrumento astronómico OSIRIS del Gran Telescopio Canarias (*GTC*) es descrito en este capítulo. El proyecto fue desarrollado 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 dobletes 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 varíe. Se muestra algunas de las especificaciones de los errores de posición y de esfuerzos en las superficies ópticas. Y también algunos de los resultados y simulaciones *FEA*, así como una breve descripción del instrumento científico. A lo largo del capítulo se incluyen notas de manufactura e imágenes de los componentes fabricados. Si se requiere un mayor detalle de los documentos originales de Diseño Crítico véanse los apéndices D y E.

4.1 INTRODUCCIÓN

El costo de observación por noche en un telescopio como el *GTC* es muy elevado (varios miles de dólares), y la instrumentación científica que requiere es sofisticada, de alto desempeño y de varios millones de dólares. La experiencia acumulada por el *IA-UNAM* en el desarrollo de instrumentos para los telescopios del Observatorio Astronómico Nacional (*OAN*) permiten que la participación mexicana en el proyecto *GTC* sea tanto científica como de ingeniería. Hoy día, la colaboración en el proyecto español *GTC* es una gran oportunidad para astrónomos e ingenieros mexicanos de estar a la vanguardia. La investigación astronómica que permitirá hacer el *GTC* abarca desde agujeros negros hasta la búsqueda de planetas fuera de nuestro sistema solar pasando a través de formación, población y explosión estelar, galaxias activas y primigenias y cosmología. El objetivo de la participación mexicana en el proyecto *GTC* es que los astrónomos mexicanos tengan tiempo de observación en el telescopio. Para lograr esto se está colaborando en el diseño y fabricación de instrumentos científicos para el telescopio *GTC*, tal es el caso de OSIRIS y del trabajo que aquí se presenta.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INSTRUMENTO OSIRIS

OSIRIS es un sistema óptico para adquisición de imágenes de baja resolución, este instrumento también puede funcionar como un espectrógrafo multiobjetos cubriendo las longitudes de onda en el intervalo de 0.365 a 1.0 µm. OSIRIS representa la nueva generación de técnicas instrumentales de observación astronómica, que incluye conceptos tales como; rueda de filtros y acarreo de carga en el detector *CCD* [1]. OSIRIS deberá operar el "día uno" de la puesta en funcionamiento del telescopio. Este instrumento deberá ser colocado en el rotador mecánico del telescopio (véase Figura 4.1). El sistema óptico está contenido en la Unidad de la Cámara que consiste de un barril dividido en dos secciones, la primera formada por; el doblete[21] D1 y la Unidad de Enfoque; y la segunda con los singletes S1 y S2 y los dobletes D2 y D3 (véase Figura 4.2). La ventana del criostato para el *CCD* contiene el singlete S3 por dentro, y no forma parte del barril.

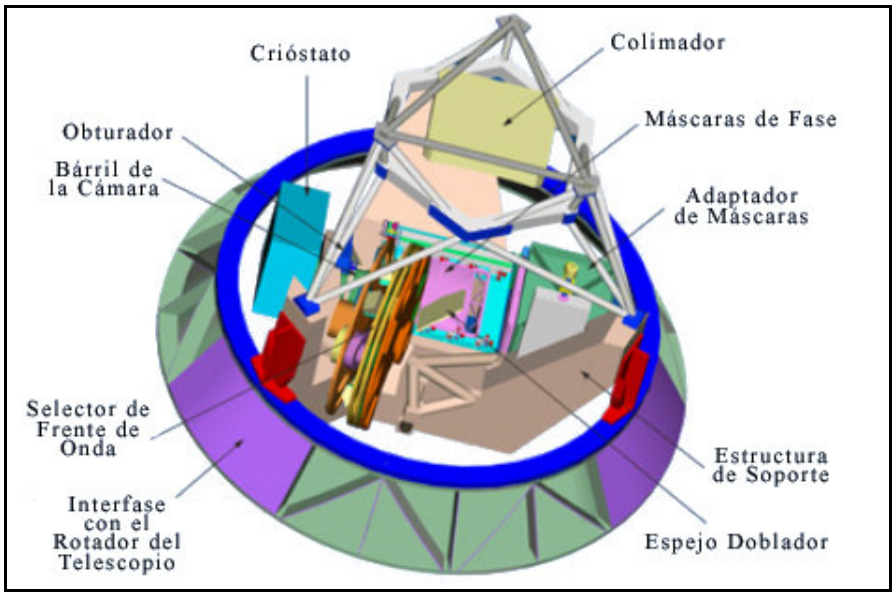


Figura 4.1. *Instrumento OSIRIS.*

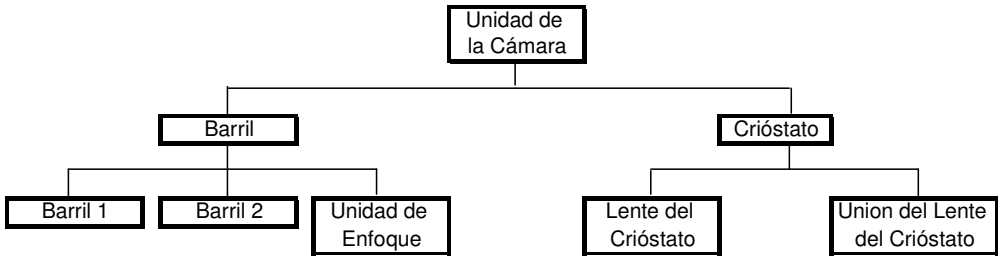


Figura 4.2. *Diagrama de árbol de la cámara para OSIRIS.*

[21] Sistema óptico formado con dos lentes en contacto.

En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de los elementos ópticos en la posición que deben tener en la cámara. El obturador para tomar las imágenes es soportado por la estructura de soporte de OSIRIS y no está unido con el barril de la cámara. Las dimensiones generales de cada lente provienen del diseño óptico de la cámara, la mayor de éstas tiene un diámetro de 14.5 cm aproximadamente (véase Apéndice C).

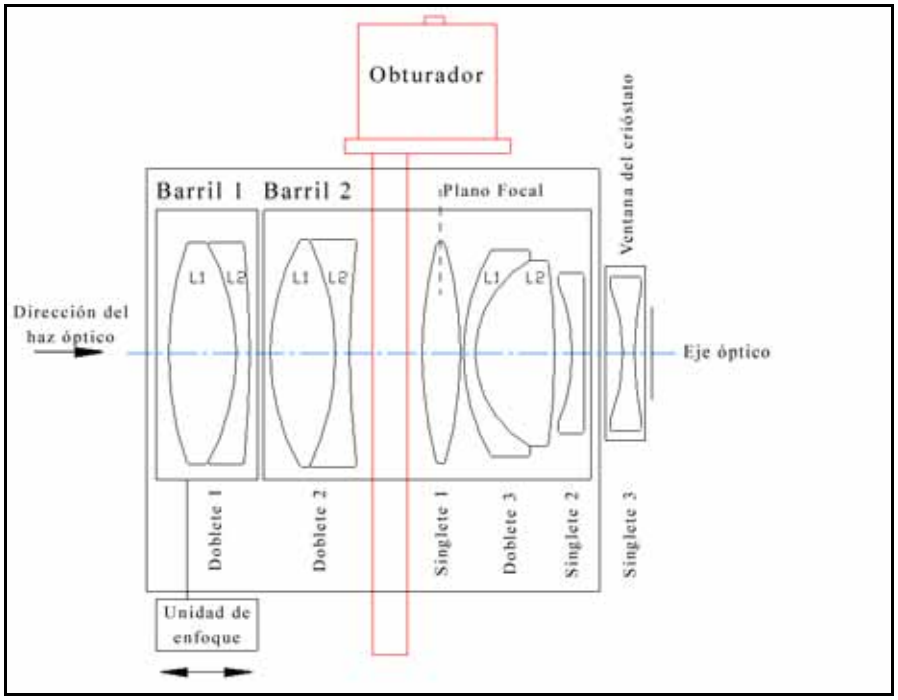


Figura 4.3. *Diagrama funcional de la cámara OSIRIS*

Los materiales y coeficientes de expansión térmica de los diferentes lentes que componen la cámara son muy específicos y si a esto agregamos el costo de manufactura, los lentes se convierten en los componentes más caros del instrumento. Por si esto fuera poco, su fabricación puede llevar varios meses, por estas razones es necesario tener extremo cuidado con su manejo. Para darnos una idea, uno de los lentes de 15 cm de diámetro y un espesor de 3 cm costó alrededor de 16 000 dólares y requirió de 5 meses de trabajo para lograr obtener las curvaturas necesarias. Durante el montaje, transportación y uso del instrumento, lo menos deseado es la ruptura de un lente como este.

4.3 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS

La cámara de OSIRIS deberá cumplir con los requerimientos establecidos (véase Apéndice A). Sus especificaciones incluyen restricciones de deformación y esfuerzos por cargas gravitatorias y térmicas, así como de ensamble y repetitividad. De las especificaciones el apartado más crítico es el de esfuerzos. Durante la operación del instrumento ninguna de sus componentes ópticas, bajo ninguna circunstancia, podrá tener un esfuerzo mayor a 3.4 MPa. Esto es debido a que se puede presentar el fenómeno de birrefringencia. En función de las

especificaciones y requerimientos establecidos, y como parte del Diseño Conceptual del barril los siguientes criterios, parámetros e indicadores de diseño fueron propuestos:

- El intervalo de temperatura de operación del instrumento es de –6 a 30 °C.
- El comportamiento térmico es el más crítico ya que varía con el tiempo.
- Considerar temperaturas de maquinado diferentes a las de diseño.
- Isotermalización, los coeficientes de expansión térmica deben tener valores lo más similares posible al de los vidrios.
- La cámara deberá tener el menor peso posible.
- Diseñar para que el esfuerzo de birrefringencia no se presente dentro de las aperturas ópticas de las lentes.

El funcionamiento del instrumento requiere que la luz que concentra el telescopio se encuentre ubicada en la posición espacial definida para el detector *CCD*. Si alguno de los lentes del sistema óptico estuviera en una posición diferente a la especificada el haz no se concentraría en el lugar previsto, provocando imágenes de baja calidad no aceptables. En las especificaciones se define la posición de cada lente en el sistema óptico y tolerancia de posición que garantiza el buen desempeño del instrumento. El orden de magnitud de las tolerancias de posición del sistema es de micrómetros en todo su intervalo de operación, el caso más crítico demanda 50 micrómetros de descentrado. Estos valores no son fáciles de lograr debido a la variación de las condiciones ambientales a las que el instrumento estará sujeto.

Los requerimientos básicos de la Unidad de Enfoque son que la posición relativa del primer doblete pueda ser modificada con respecto a D2 con una precisión de 4 μm con una repetitividad mejor a ± 20 μm y con una carrera total de 1 cm. Debido a que el peso total de D1 con su mecánica de soporte es menor a 5 kg, los parámetros de posicionado son factibles.

El fenómeno de la birrefringencia no es deseado durante la adquisición de imágenes astronómicas, éste provocaría que el objeto observado tuviera un aspecto similar a un fantasma (con un halo de luz). Este fenómeno se presenta por dos causas primordiales; los esfuerzos inducidos y los cambios de temperatura. Los soportes de los lentes fueron diseñados para minimizar los esfuerzos inducidos y para evitar la birrefringencia por cambios de temperatura se hizo el diseño de la Unidad Pasiva de Desplazamiento (*UPD*).

Cuando la temperatura del medio ambiente cambia las propiedades mecánicas de todos los materiales varían. Los vidrios por ejemplo, tienen una pequeña variación de su índice de refracción provocando que la birrefringencia aparezca. Una forma de evitar la aparición del halo de luz es modificando la posición relativa de un lente con respecto a los otros. El valor

de este movimiento es de apenas unas cuantas micras por grado centígrado, por lo que la manera más eficiente de hacer esta corrección es por medio de la expansión térmica de algún material que soporte el lente. El doblete D3 ha sido electo como compensador térmico de calidad de imagen y escala de placa de OSIRIS. Para cumplir esta función es necesario que D3 tenga un movimiento axial pasivo de 12.6 +1.9/-2.6 micras/m°C dentro de la *UPD*.

El coeficiente de expansión térmica (*CTE*) aproximado que debe tener el material de la unidad es de $120x10^{-6}$ $°C^{-1}$. Existen algunos materiales con un *CTE* aproximado a este valor, el material electo fue un polímero llamado ZyTel de la empresa DuPont, es importante mencionar que este producto fue importado a México por primera vez para este proyecto.

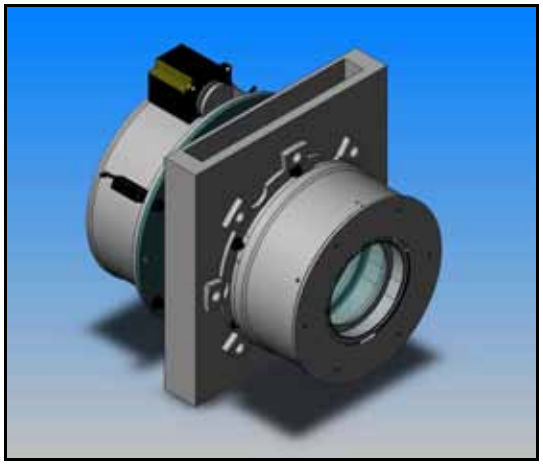
La primera etapa del estudio incluyó una comprobación de las simulaciones *FEA*, los resultados obtenidos fueron comparados con ecuaciones analíticas básicas de la expansión térmica. Además, se compararon con las ecuaciones empíricas propuestas por Yoder [4]. Los resultados fueron alentadores y nos dieron la seguridad para afirmar que estas simulaciones nos proporcionaban información adecuada, con mayor rapidez y con un mayor contenido. Todos los modelos conceptuales fueron analizados y comparados para poder elegir las mejores opciones para cada sistema. La historia del modelado de cada uno de los conceptos fue desarrollada de manera similar con el objetivo de que el estudio comparativo fuera válido. El número de elementos finitos, su tipo, sus restricciones y sus condiciones de frontera son análogos para garantizar que las diferentes geometrías de los soportes sean las que se estén comparando.

4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BC

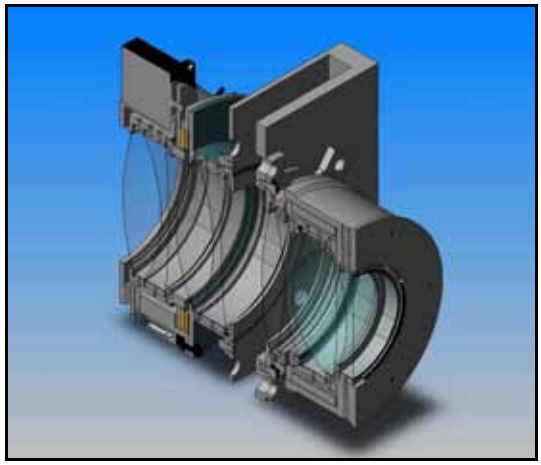
Basados en los modelos conceptuales generados durante el Diseño Conceptual, a continuación se describe el Diseño Preliminar del sistema mecánico de soporte para las lentes del Barril. El diseño es modular para permitir su ensamble y desensamble (véase Figura 4.4). Está compuesto por 4 subensambles y dos interfaces. El Barril 1 incluye a D1 y a la Unidad de Enfoque. El Barril 2, compuesto por D2, la interfase con el obturador, S1, D3 y S2, sirve de interfase de soporte con el resto del instrumento, según especificaciones.

Los dobletes D1, D2 y D3, así como las lentes S1 y S2 de BC están contenidos en su propia celda. El acceso a cualquier de estos componentes se puede lograr sin la necesidad de desensamblar el sistema completo. El ensamble de toda la cámara es por medio de tornillos con tuerca y la repetitividad de este proceso se garantiza con pernos guía de alineación.

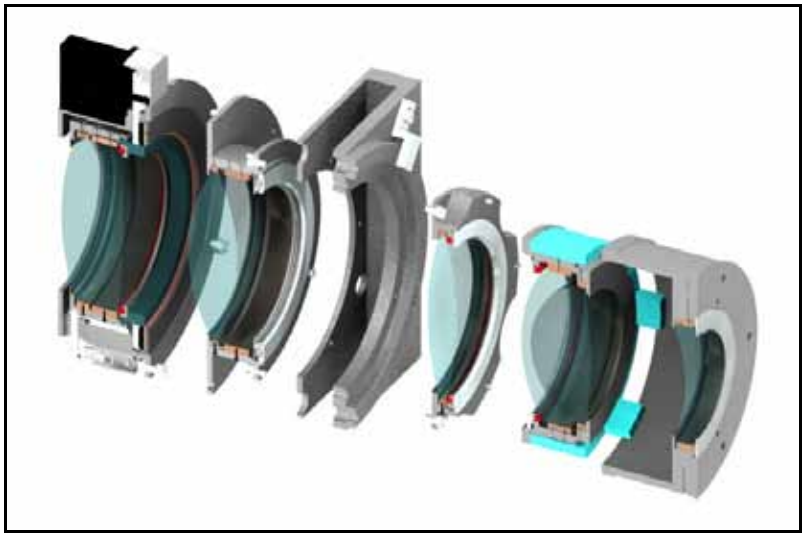
El SR de cada lente es un arillo con muelles de amortiguación para las expansiones térmicas, contenido en su celda correspondiente. Es un soporte compuesto por una sola pieza, que una vez maquinado a las dimensiones deseadas no requiere de ajustes posteriores. La forma y su desempeño mecánico garantizan la calidad de imagen deseada (véase Figura 4.5).



(a) Vista isométrica



(b) Vista isométrica en corte



(c) Imágenes de los barriles

Figura 4.4. *Modelo tridimensional del Barril de la Cámara OSIRIS.*

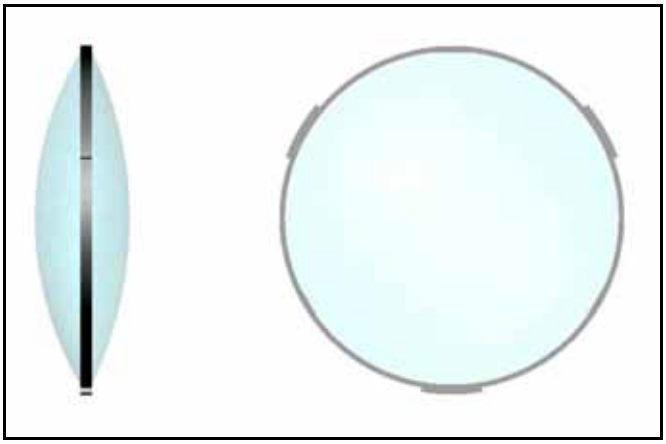


Figura 4.5. *Soporte radial de los lentes (Doblete 1, Lente 1)*

La posición axial de cada lente en el sistema óptico se define con topes mecánicos a 90° (de tipo *"Sharp Edge"* REF 4). Para liberar los posibles esfuerzos debidos a la expansión térmica se utiliza un O-ring de plástico (véase Figura 4.6). Los esfuerzos generados por las precargas y las expansiones se analizaron para cada caso en específico y se garantiza que están por debajo del nivel especificado. El material y las dimensiones propuestas de cada componente fueron propuestas a partir del comportamiento térmico del sistema.

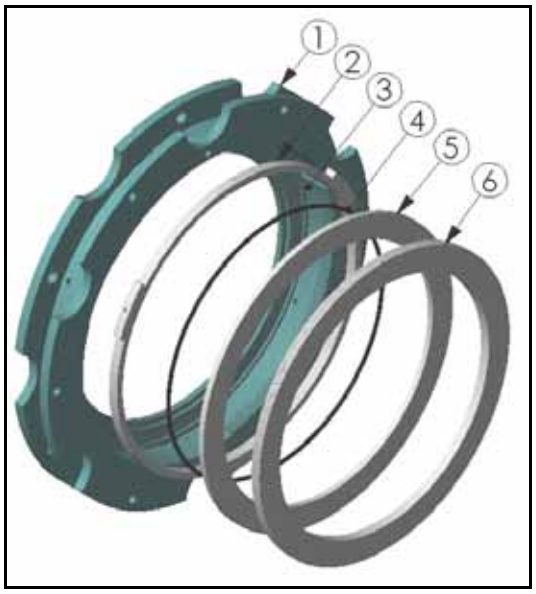


Figura 4.6. *(1) Celda 2 de B2, (2)soporte radial, (3) lente, (4) O-ring y (5 y 6) separadores de S1*

La Unidad de Enfoque funciona a partir de un sistema de engranes helicoidales restringidos a toda traslación por medio de rodamientos. La rotación es transmitida a la celda de D1 por medio de roscas. El enfoque se logra gracias a la traslación de la celda a lo largo de una guía lineal. El movimiento se transmite a partir de un motor de pasos. Para evitar los juegos entre las roscas, el sistema está precargado por medio de tres resortes. La celda no tiene rotación alguna solo presenta translación a lo largo de ejes guía. El ajuste del sistema está incluido en el presupuesto de error. El sistema cuenta también con un codificador lineal de posición (véase Figura 4.7).

La celda de D3 está contenida en la *UPD*, esta unidad tiene la función de corregir la posición del doblete conforme varíe la temperatura. El movimiento se logra gracias a la expansión térmica de un cilindro polimérico (véase Figura 4.8). La longitud del cilindro se calculó en función del *CTE* del material electo ($180x10^{-6}$ $°C^{-1}$). Las propiedades de este elemento serán verificadas en un laboratorio certificado de metrología. Del análisis *FEA* se concluyó que la *UPD* tiene la suficiente rigidez para soportar al D3 y su celda. La unión entre estos elementos en sus dos extremos es firme y estable.

El material con mayor proporción en el Barril es Aluminio 6061. La rigidez de este material fue suficiente para garantizar que los esfuerzos y desplazamientos generados, por el peso mismo de cada componente y de las lentes, se encuentre dentro de los valores permisibles. El número total de componentes estimados es de 55 con un peso aproximado de 24.2 kg. En esta estimación no se considera el peso de los tornillos, tuercas y elementos de ajuste.

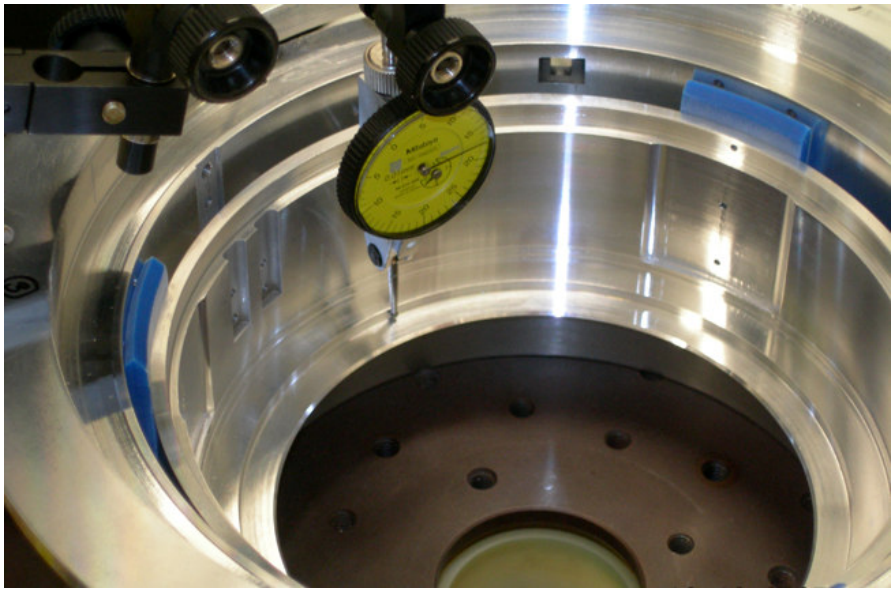


Figura 4.7. *Unidad de Enfoque durante el proceso de verificación metrológica.*

El proceso de maquinado del Barril será realizado con equipo CNC, donde cada una de las celdas se maquinarán por separado. Las tolerancias de maquinado son factibles de alcanzar con equipo convencional *CNC*, y serán certificadas por el fabricante (*CIDESI*[22]).Una vez terminadas y con las dimensiones aproximadas a las deseadas se procederá al ensamble con ayuda de pernos guía y tornillos. Las dimensiones de la cámara serán verificadas en laboratorios especializados de metrología y de ser necesario rectificadas. El proceso garantiza la coincidencia de los ejes mecánicos de cada celda en el Barril.

Los arillos del SR son la interfase entre las lentes y las celdas que los contienen. Su fabricación será realizada a partir de las dimensiones medidas de las lentes una vez terminadas y serán ajustados para lograr el apriete deseado. Los diferentes ejes de maquinado serán coincidentes para garantizar la concentricidad. Este proceso se puede realizar en el centro de maquinado conservando una referencia fija durante los diferentes procesos. El ensamble entre el lente y el metal se puede lograr gracias a la posibilidad de usar herramientas de ensamble.

[22] CIDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial de Querétaro

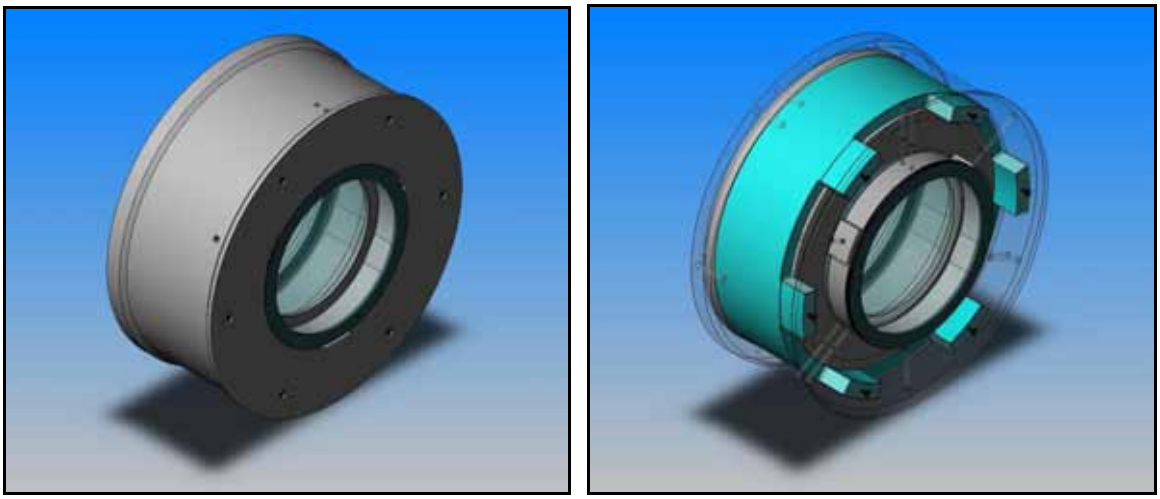


Figura 4.8. *Unidad Pasiva de Desplazamiento, UPD*

4.5 CÁLCULOS MECÁNICOS

El objetivo de esta sección es mostrar algunos de los cálculos mecánicos que sustentan el Diseño Preliminar del Barril. Éstos se realizaron para los casos de estudio más drásticos y están divididos de la siguiente manera; soportes radiales, topes mecánicos axiales, Unidad de Enfoque, *UPD* y deformación gravitatoria del Barril. Las técnicas utilizadas incluyen cálculos analíticos, simulaciones por *FEM* así como el uso de criterios establecidos y corroborados de diseño mecánico. Todos y cada uno de los valores que se presentan a continuación se encuentran dentro de los valores impuestos por el documento de especificaciones.

Soporte radial

El gradiente térmico utilizado en las simulaciones fue de 36°C, de esta manera se garantiza que los esfuerzos están dentro de valores permisibles en todo el intervalo. Las dimensiones de maquinado deberán ser propuestas partiendo de que la temperatura libre de esfuerzos es 30°C (límite superior de intervalo). Los soportes radiales para cada lente tienen un *CTE* similar al del vidrio que contienen, como se propuso en los criterios de diseño, para reducir los esfuerzos inducidos y evitar el efecto de birrefringencia.

El caso del segundo doblete es el más crítico de todos los lentes. El máximo esfuerzo que se presenta en la apertura óptica del lente D2L1 es de 0.8 MPa, valor que se encuentra por debajo del especificado. En el caso de D2L2, el esfuerzo térmico generado con un soporte radial de Aluminio (6061) es mayor que el obtenido cuando es de Acero (4041), esto es debido a la diferencia entre los coeficientes de expansión térmica relativas al del lente. El resultado es congruente con el esperado, mientras más similares sean éstos coeficientes menor es el esfuerzo generado (véanse los criterios de Diseño Conceptual).

La Figura 4.9 muestra la simulación del segundo lente del doblete 1 incluyendo la celda que contiene el soporte radial de Titanio (6AI-4V). El esfuerzo residual en la apertura óptica se encuentra también bajo especificaciones, este valor tiene un incremento debido a la diferencia de coeficientes de expansión térmica entre la celda y el soporte radial del lente. El desplazamiento debido a la carga gravitatoria fue analizado en dos casos. El primero es D1L1, el cual es el lente más pesado del Barril y el segundo D2L1, que es el lente con el soporte radial más angosto. La simulación de los desplazamientos en D1L1 se muestran en la Figura 9 (unidades en micrómetros), los valores máximos están incluidos en el presupuesto de error.

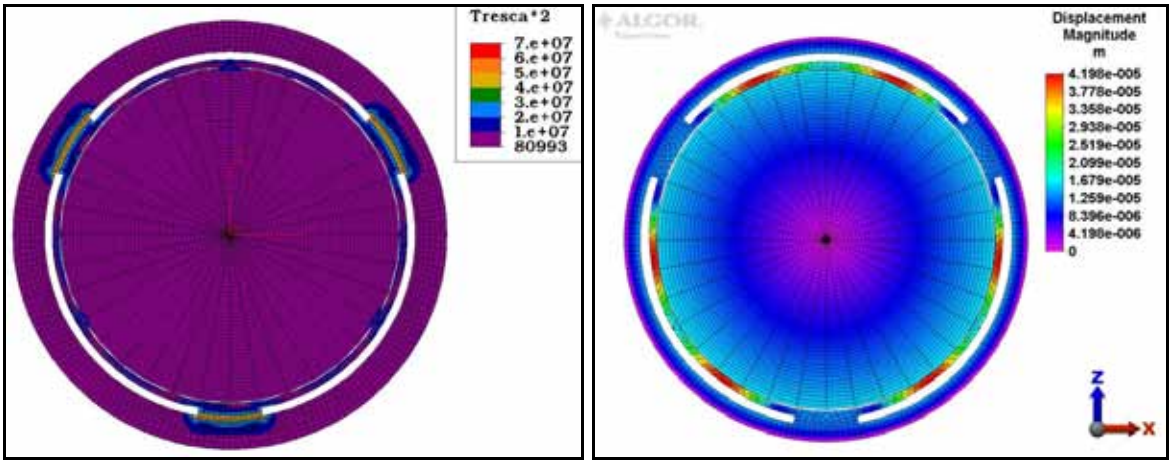


Figure 4.9. *Esfuerzos térmicos en D1L2 con soporte radial de Titanio y celda de Aluminio (esfuerzo de 1.13 MPa en OA); Simulación de la celda D1L1 de los desplazamientos gravitatorios debidos a la acción de la gravedad (valor máximo en el soporte radial de 42 micrómetros).*

Posicionado y esfuerzos axiales de los lentes

Con el objetivo de evitar la concentración de esfuerzos se hace uso de O-rings, los cuales son capaces de absorber las expansiones y contracciones de los materiales manteniendo la óptica en la posición deseada. Este Diseño Preliminar propone el uso de O-rings de 5 mm de diámetro; lo cual se traduce para el caso más crítico en una deformación del 0.42%, el cual es un valor no representativo para la concentración de esfuerzos.

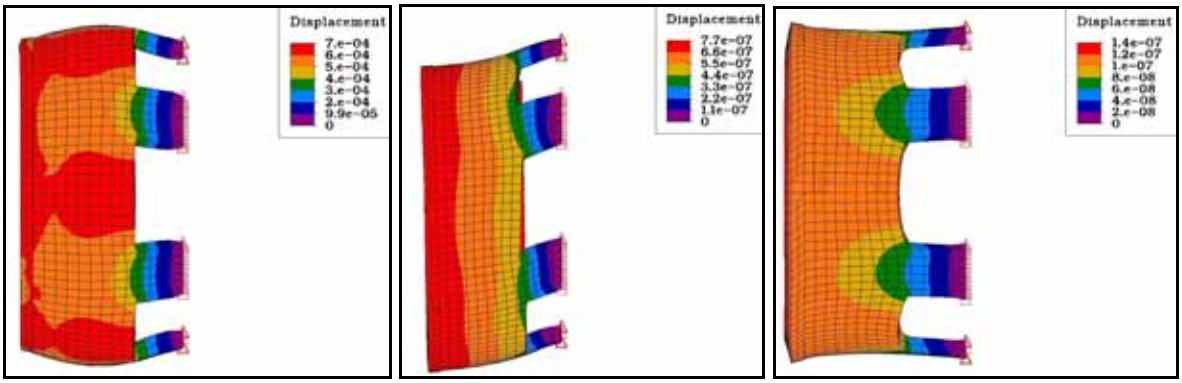
Unida de enfoque

La resolución que se puede alcanzar con los engranes helicoidales y el motor de pasos es suficiente para satisfacer las especificaciones. Para evitar en lo máximo posible el juego en el sistema los engranes son de tipo helicoidal y la cuerda de las roscas es de tipo cuadrada. El juego del sistema de roscas es eliminado con resortes de precarga con ayuda de tres

resortes. Los momentos inducidos por la fuerza de gravedad son despreciados debido al uso de rodamientos axiales de agujas. Para seleccionar el motor de pasos se calculó el par generado para mover todos los componentes. Los cálculos incluyeron el peso de los componentes, la fuerza de los resortes de precarga y la fuerza de fricción en las roscas. Concluyéndose que el motor requerido es existente y se puede conseguir comercialmente.

Unidad Pasiva de Desplazamiento

La longitud propuesta para la UPD es de 0.07 m. La expansión térmica analítica del modelo por computadora fue analizada por *FEM* como se muestra en la Figura 4.10. (unidades en micrómetros). La simulación incluye el peso de los componentes que va a soportar y su propio peso suponiendo un factor de seguridad de 5, por lo que el peso total aplicado es de 9.579 kg. Se decidió aplicar este factor debido a la posibilidad de que las propiedades mecánicas de la unidad varíen durante su fabricación.



(a) (b) (c)

Figura 4.10. *Desplazamientos de la UPD; (a) gradiente térmico de 36°C, (b) vector gravedad perpendicular al eje óptico, (c) vector gravedad en la dirección axial contraria a los soportes*

Barril: acción gravitatoria sobre el Barril ensamblado

La deformación del Barril es debida a la acción de su propio peso y de los componentes que contiene. En la Figura 4.11 (unidades en micrómetros) se muestran los valores de los desplazamientos debidos a la flexión de la cámara. Las condiciones de frontera se supusieron según la interfase de soporte de la cámara y el Barril. El peso total utilizado para la simulación fue de 67 kg, considerando un factor de seguridad aproximado a 3. Estos valores de desplazamiento son incluidos en el presupuesto de error.

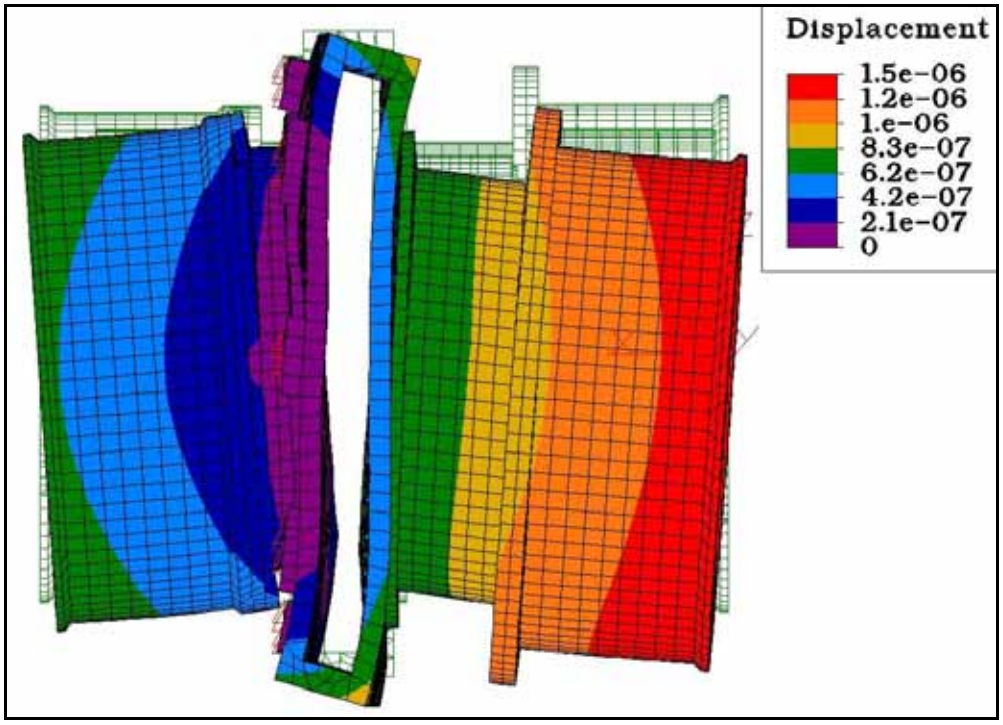


Figura 4.11. *Simulación de la flexión del barril*

El objetivo de los presupuestos de error es el de cuantificar el error acumulado por todos los componentes del sistemas. Estos valores de error deben satisfacer las especificaciones (véanse Tablas 4.2 y 4.3 y el Apéndice B).

4.6 Presupuesto de Errores:

a) Posición nominal de los lentes

La posición nominal de los lentes se logra a través de topes mecánicos y superficies de referencia. Las tolerancias del proceso de maquinado de cada componente son del orden de 10 μm. El caso más drástico es D1L1, el cual tiene un error máximo de 90 μm de error en la posición del vértice. Esto es debido a que tiene 6 superficies de referencia (tornillos de sujeción) y 3 topes mecánicos que definen su posición axial (véase Figura 4.12). Este cálculo implica que la tolerancia de maquinado es siempre en la misma dirección con su valor máximo de 10 μm.

b) Tolerancias de posición de los lentes

Descentrado

Los siguientes valores son estimados para D2L1, el cual es el caso más crítico (véase Tabla 4.1).

1) Rugosidad del canto de las lentes
Valor: 20 µm
Fuente: ópticos

2) Soportes Radiales
Valor: 10 µm
Especificaciones del centro de maquinado CNC (CIDESI)

3) Desalineamiento Soporte Radial/Barril
Valor: 10 µm
Especificaciones del centro de maquinado CNC (CIDESI)

4) Barril
Valor: 10 µm
Especificaciones del centro de maquinado CNC (CIDESI)

5) Desalineamineto radial de la celda
Valor: 10 µm
Especificaciones del centro de maquinado CNC (CIDESI)

6) Desplazamientos debidos a la carga gravitatoria
Valor: (5.36 from RS + 1.5 from barrel) µm = 6.86 µm
FEA simulations for D2L1 and for the barrel

7) Otros: un estimado del 5% del total anterior (3.34 µm)

Tabla 4.1. *Presupuesto de error para el descentrado.*

a) Rugosidad del canto de las lentes	20
b) Soportes Radiales	10
c) Desalineamiento Soporte Radial/Barril	10
d) Barril	10
e) Desalineamineto radial de la celda	10
f) Desplazamientos (carga gravitatoria)	6.86
g) Otros	3.34
Total	70.20

c) Esfuerzos en los lentes

Dirección radial:

a) D2L2 esfuerzo térmico inducido por su soporte radial en la apertura óptica: (véase Figura VI.1b) 2.9 MPa

b) D2L1 esfuerzo debido a la gravedad: 0.055 MPa
(véase Figura VI.4b)

Total: 2.955 MPa

Dirección axial:

c) D3 esfuerzo debido a la precarga: 1.671 MPa
(incluye la expansión térmica; Figura VI.7)

Esfuerzo total : $= \sqrt{2.95567^2 + 1.6716^2}$ MPa = 3.395 MPa

Aunque el valor del esfuerzo total se encuentra cerca del valor especificado, los presupuestos de error se encuentran por debajo de los valores establecidos por las especificaciones. Es importante notar que todos estos valores son para el caso de estudio más crítico del componente más crítico, y considerando las condiciones de frontera límite. Por este motivo se puede garantizar que todos los componentes tienen valores menores al presentado en esta sección.

4.7 NOTAS DE DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS.

El Diseño Mecánico de cada componente mecánico del barril se realizó de manera paramétrica a partir de modelos tridimensionales de las lentes que conforman la cámara de *OSIRIS*. Las tolerancias de fabricación se asignaron en función del presupuesto de errores desarrollado para la evaluación del sistema completo, incluyendo incluso al telescopio *GTC*. Durante todo el proceso de diseño mecánico se evalúo la factibilidad de estas tolerancias con el fabricante y su capacidad tecnológica. La interacción con el *Centro de Ingeniería (CIDESI)* fue constante, se trabajó con ellos a través de planos de fabricación y modelos sólidos en forma digital. Así mismo, se acordaron y realizaron una serie de pruebas de metrología para la certificación dimensional de los componentes mecánicos; de las propiedades físicas de los diversos materiales; y del desempeño de los componentes del Barril de la Cámara *OSIRIS* una vez integrados. Esta metodología de trabajo fue propuesta en el esquema de colaboración internacional que se sigue convencionalmente en proyectos de instrumentación astronómica internacionales. A continuación se describen los procesos y resultados obtenidos durante la fabricación y pruebas de los componentes mecánicos.

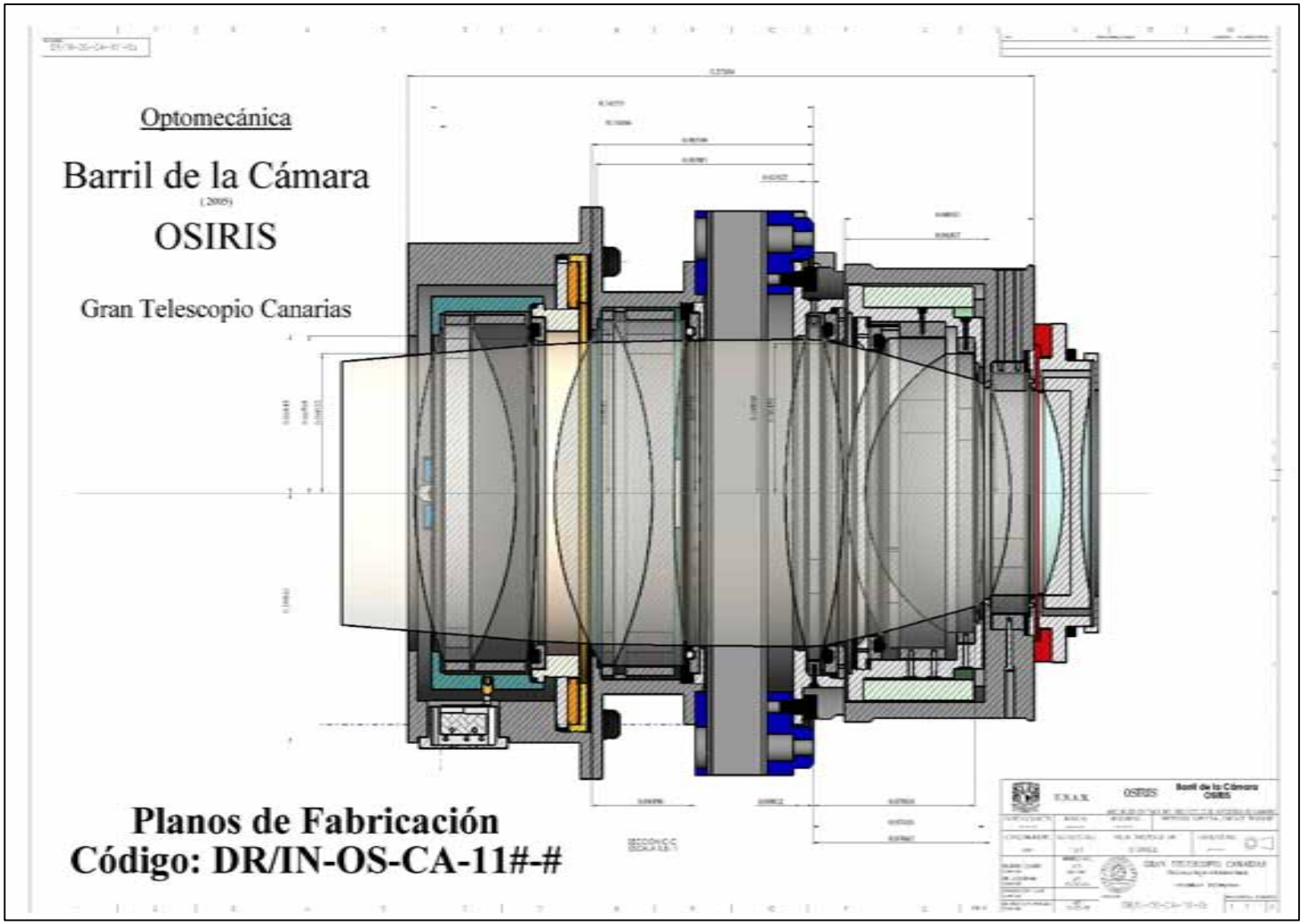


Figura 4.12. *Vista lateral en corte del Barril de la Cámara, incluye el camino óptico de la luz a través de las 9 lentes finales del sistema óptico, para mayor detalle véase el Apéndice D.*

Celdas

Como se ha descrito anteriormente el barril está compuesto por 5 celdas. Tres que contienen un doblete y dos con un singlete. El diseño paramétrico-optomecánico[23] permitió a partir del presupuesto de errores utilizar las celdas como compensadores de fabricación e integración. El proceso de manufactura de las lentes implica variaciones aleatorias en los radios de curvatura y espesores dentro de las tolerancias asignadas. Una vez medidos estos valores, el presupuesto de errores fue evaluado nuevamente. Así las lentes finales fueron las que gobernaron la dimensión final de su respectiva celda. La longitud de cada una de ellas fue modificada en función de la simulación por computadora de la energía encerrada (trabajo realizado por los diseñadores ópticos del proyecto *OSIRIS*), permitiendo corregir la posición final de las lentes respecto al sistema global de referencia (véase Figura 4.13).

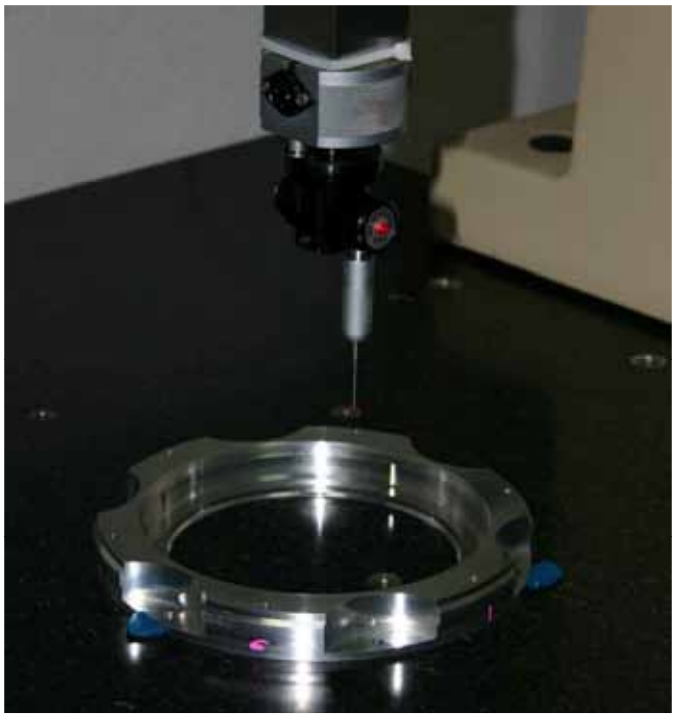
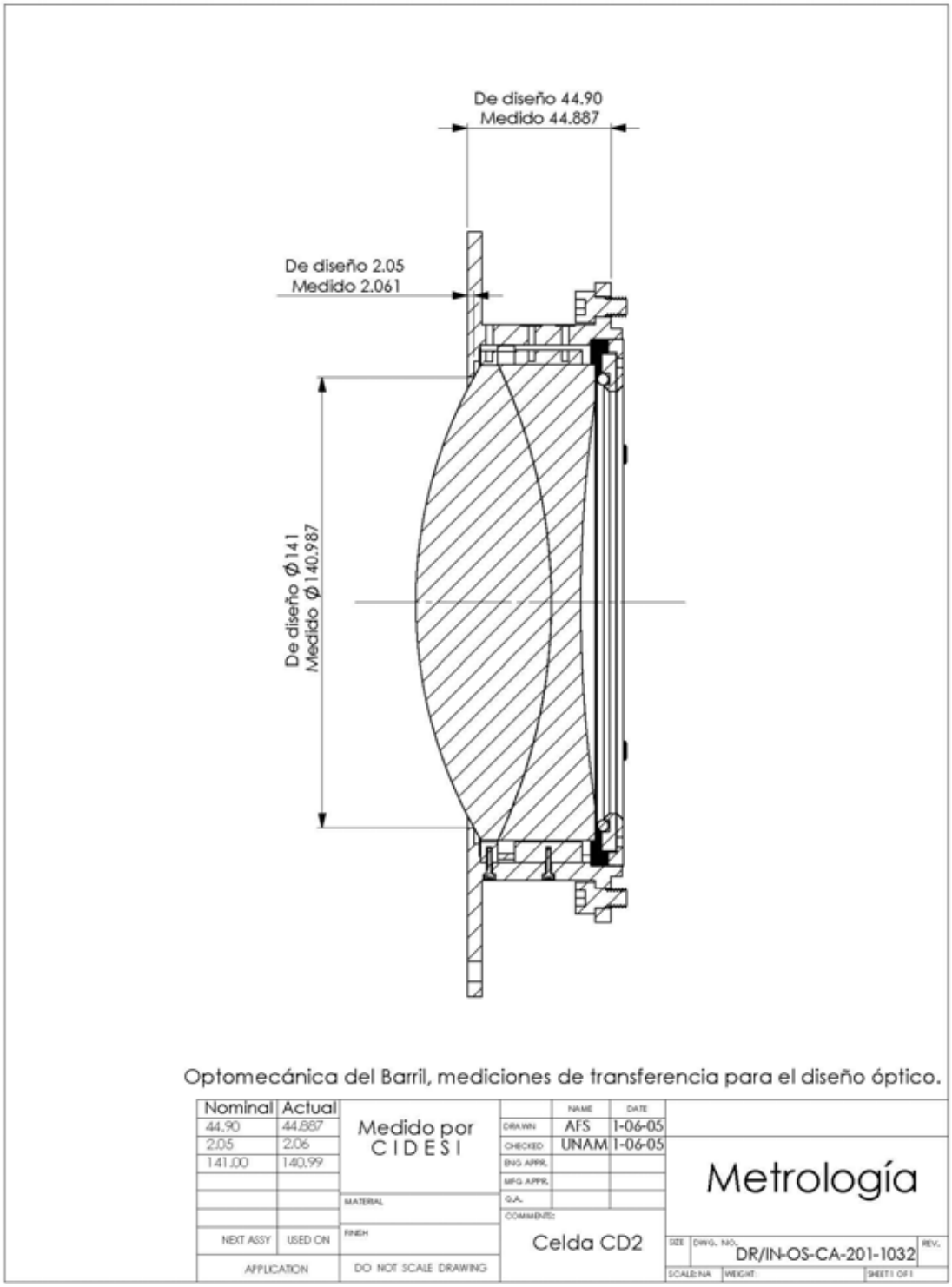
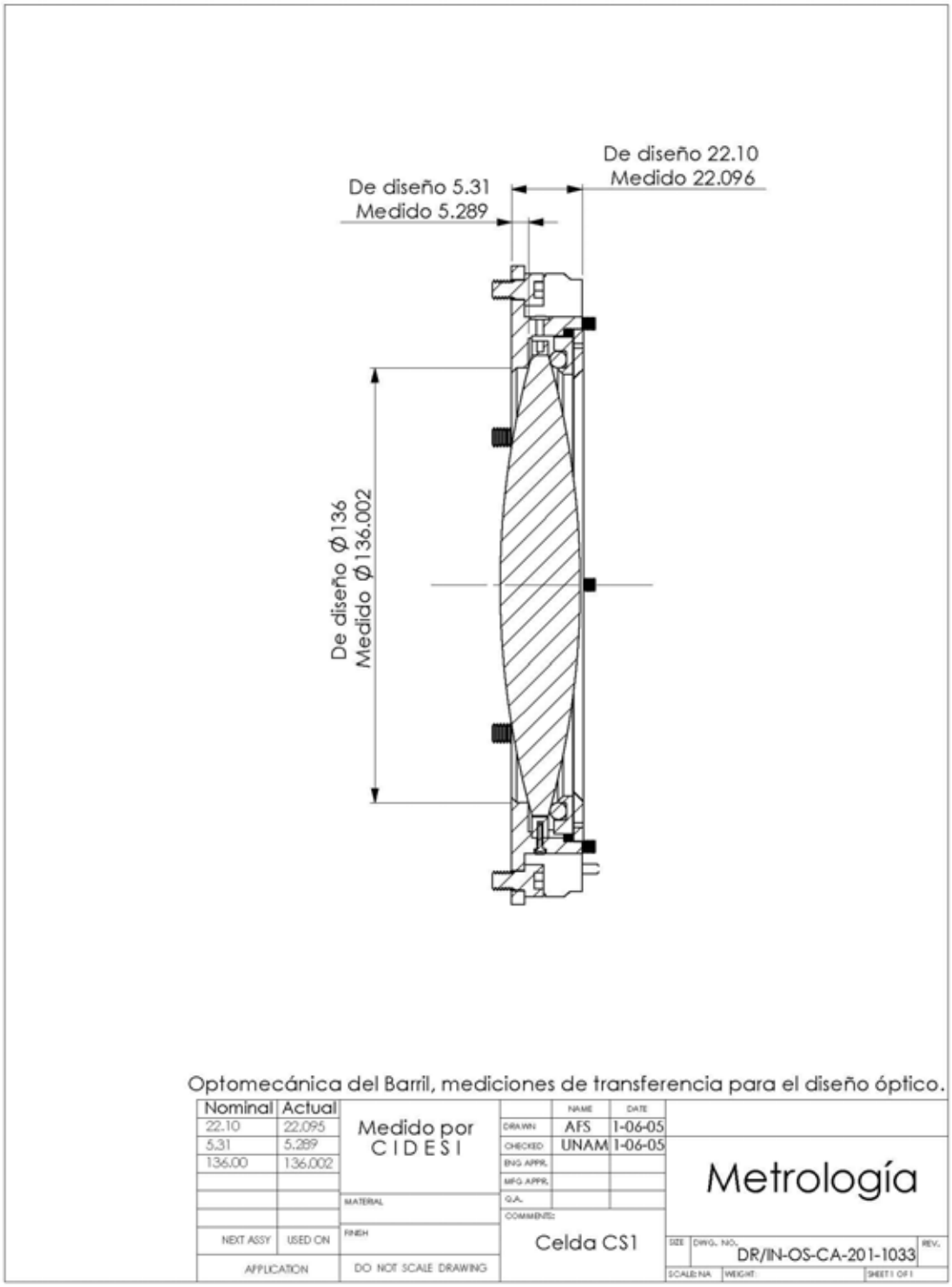


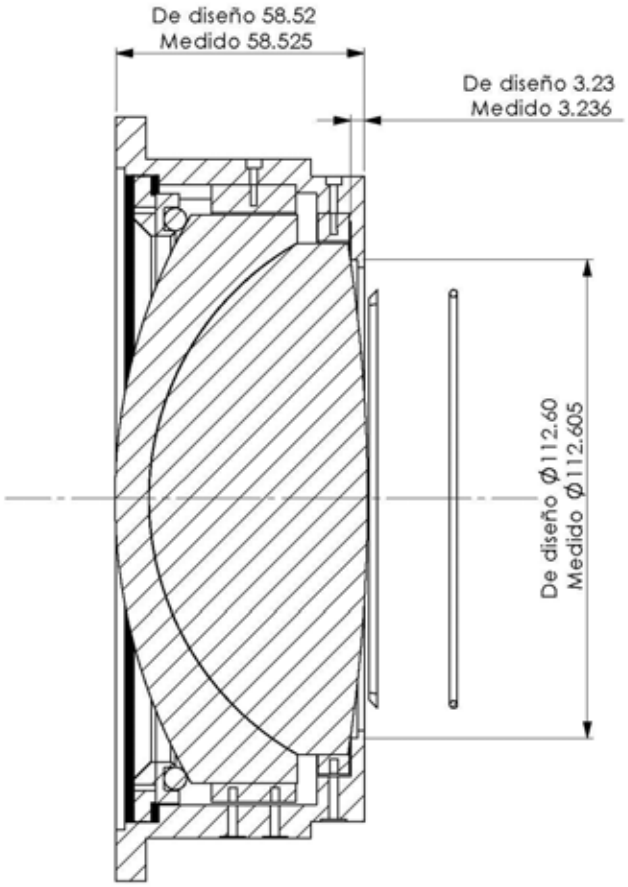
Figura 4.13. *Celdas del barril durante el proceso de metrología.*

A continuación se muestra una serie de planos con la información procesada y las correcciones optomecánicas en las dimensiones de diseño y fabricación de las celdas *CD2, CS1, CD3* y *CS2*. La valores que se muestran son aquellos que tienen injerencia con la posición de las lentes en el sistema óptico. La importancia de estos valores radica en la retroalimentación final de la fabricación mecánica de las celdas en el presupuesto de errores.

[23] Referente al uso de software óptico y mecánico traducido en modelos *CAD* relacionados dimensionalmente entre sí. En este proceso se utilizó el estándar *IGES (*Initial Graphics Exchange Specification) y *ASCII* (American Standard Code for Information Interchange). Fue necesario el uso de ambos traductores debido a las virtudes y limitaciones que tienen cada uno.


De diseño 44.90
Medido 44.887
De diseño 2.05
Medido 2.061
De diseño Ø141
Medido Ø140.987
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
44.90
44.887
2.05
2.06
141.00
140.99
Medido por
CIDESI
MATERIAL
FINISH
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
DO NOT SCALE DRAWING
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
Celda CD2
Metrología
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1032
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1


De diseño 22.10
Medido 22.096
De diseño 5.31
Medido 5.289
De diseño Ø136
Medido Ø136.002
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
22.10
22.095
5.31
5.289
136.00
136.002
Medido por
CIDESI
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
Celda CS1
MATERIAL
FINISH
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
DO NOT SCALE DRAWING
Metrología
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1033
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1



Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.

Nominal	Actual
58.52	58.525
3.23	3.236
112.60	112.605

Medido por CIDESI

	NAME	DATE
DRAWN	AFS	1-06-05
CHECKED	UNAM	1-06-05
ENG APPR.		
MFG APPR.		
Q.A.		

COMMENTS:

Celda CD3

Metrología

MATERIAL

FINISH

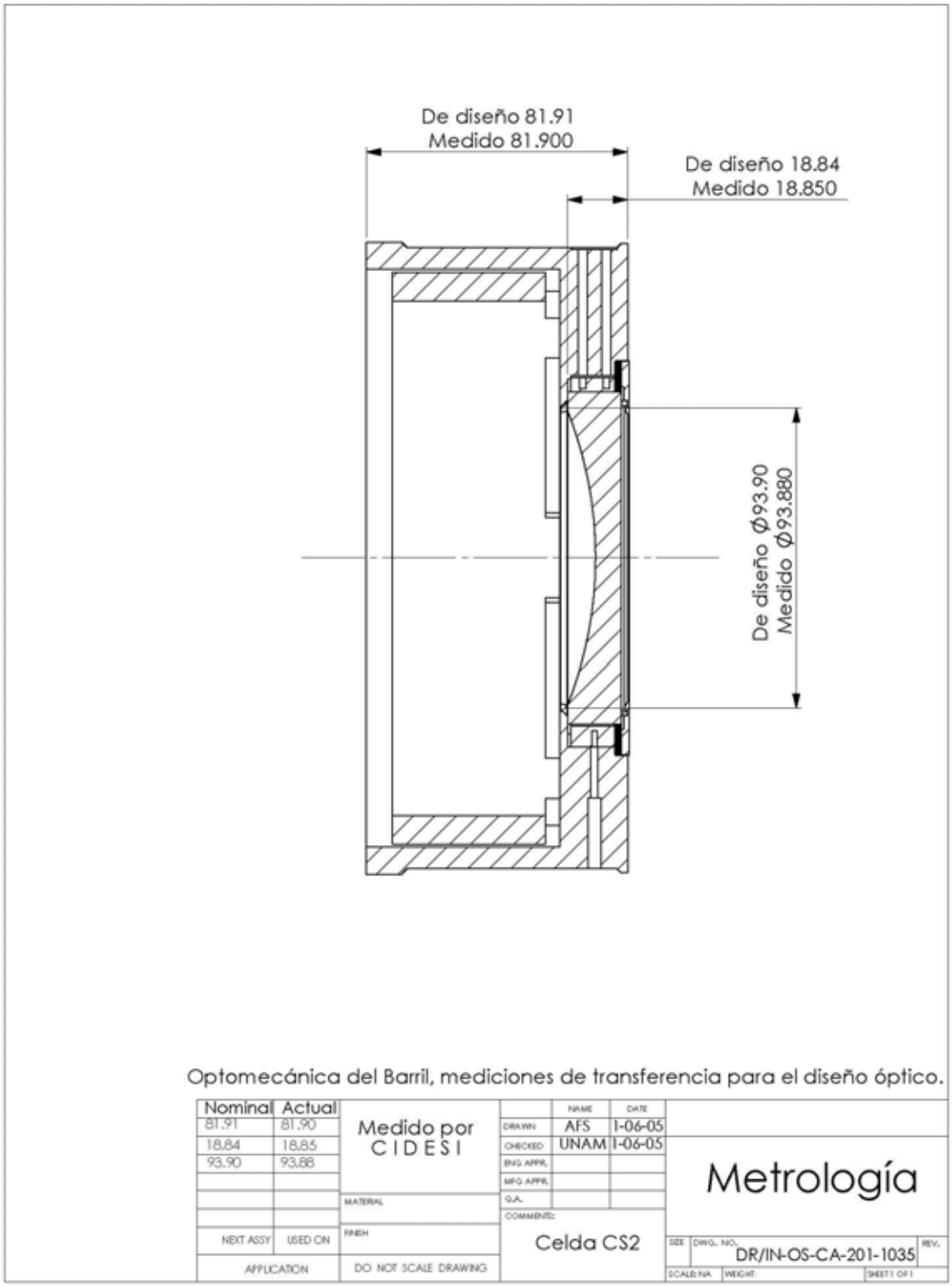
NEXT ASSY | USED ON

APPLICATION

DO NOT SCALE DRAWING

SIZE | DWG. NO. DR/IN-OS-CA-201-1034 | REV.

SCALE: NA | WEIGHT: | SHEET 1 OF 1


De diseño 81.91
Medido 81.900
De diseño 18.84
Medido 18.850
De diseño Ø93.90
Medido Ø93.880
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
81.91
81.90
18.84
18.85
93.90
93.88
Medido por
CIDESI
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
MATERIAL
FINISH
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
DO NOT SCALE DRAWING
Celda CS2
Metrología
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1035
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1

Unidades de Compensación

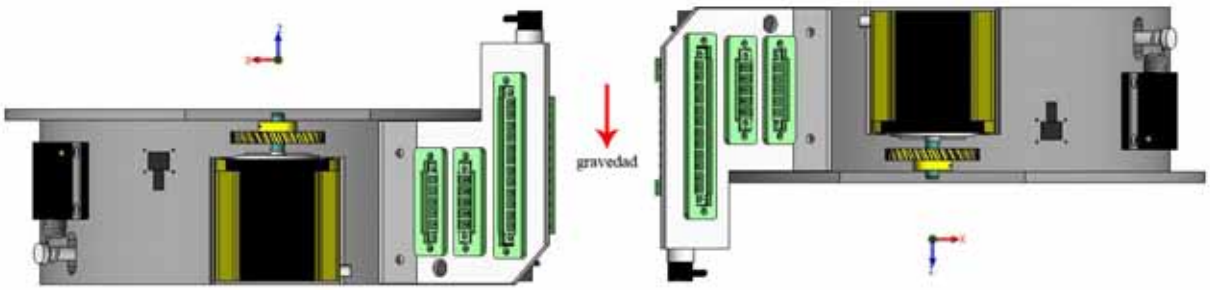
Las dos unidades de la cámara tienen el propósito de fungir como compensadores del desempeño óptico del sistema. Es por eso que su diseño, fabricación y pruebas fueron de importancia para garantizar su correcto funcionamiento. A continuación se desglosan una serie de notas optomecánicas concernientes a las mismas.

Unidad de Enfoque

En un sistema óptico de calidad astronómica la coincidencia de los ejes óptico y mecánico debe cumplir con su respectivo presupuesto de errores asignado. En el caso de la coincidencia del eje del doblete uno y su celda depende de 7 superficies de referencia y cuatro componentes mecánicos (véase Apéndice F). Las tolerancias de manufactura de esta unidad fueron las más difíciles de especificar y satisfacer. Esto debido a la repercusión que tienen entre ellas mismas durante el ensamble. Por ejemplo, la posición del motor respecto al eje óptico tuvo que cumplir la especificación de perpendicularidad; valor que fue logrado experimentalmente. La complejidad del mismo no permitió que fuera propuesto desde un principio. Esto debido a los errores de manufactura inherentes al alojamiento del motor, los engranes, sus superficies de apoyo, las roscas que los impulsan, incluso la precarga de los resortes del sistema. El proceso de calibración implicó la elaboración de un sistema de pruebas (REF 18), la compra y manufactura de más de 50 resortes con la misma rigidez teórica para encontrar los más adecuados. Finalmente, después de 5 meses de intensivas pruebas se logró encontrar el valor de perpendicularidad del movimiento de la celda a lo largo del eje óptico (véase Tabla 4.2). La repetitividad de su ensamble se logra a través de topes mecánicos tal y como se muestra en el Manual de Ensamble (Capítulo siguiente).

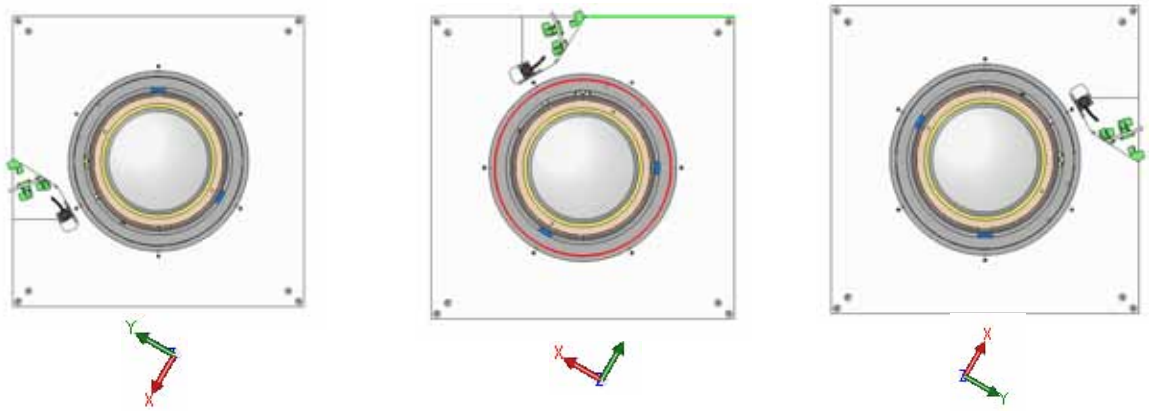
Para poder medir la repetitividad del movimiento del sistema se utilizaron dos palpadores con una resolución de 1 μm. Ambos fueron fijados a una referencia firme con ayuda de bases magnéticas (véase Figura 4.14a). La temperatura a la cual se realizaron las pruebas fue a (20±2) $°C$ y con una demostración de movimiento a (–2±2) $°C$. La unidad fue orientada respecto al vector gravedad en las direcciones que se muestran en la Figura 4.14b.

Se realizaron 11 mediciones en cada una de las 5 posiciones tal y como se muestra en la Tabla 4.2. Las pruebas se realizaron a lo largo de la carrera completa (10 mm), de ida y vuelta, sin llegar a los interruptores de final de carrera, empezando de la posición con los resortes en la mínima elongación. El recorrido incluyó una escala a la mitad de la misma. Cada prueba se realizó para cada uno de los resortes seleccionados ya que el valor de la constante de rigidez de los mismos tiene una variación mayor que la tolerada por el sistema véase (Apéndice F y figuras 4.15 y 4.16).



a) Posición de las pruebas con el vector z paralelo al vector gravedad.

b)



b) En las tres configuraciones el vector gravedad va en dirección perpendicular al papel hacia adentro del mismo.

Figura 4.14. *Posiciones de las cinco pruebas a realizar con la Unidad de Enfoque.*

Figura 4.15. *Imágenes que muestran dos de las posiciones de prueba de la Unidad de Enfoque.*

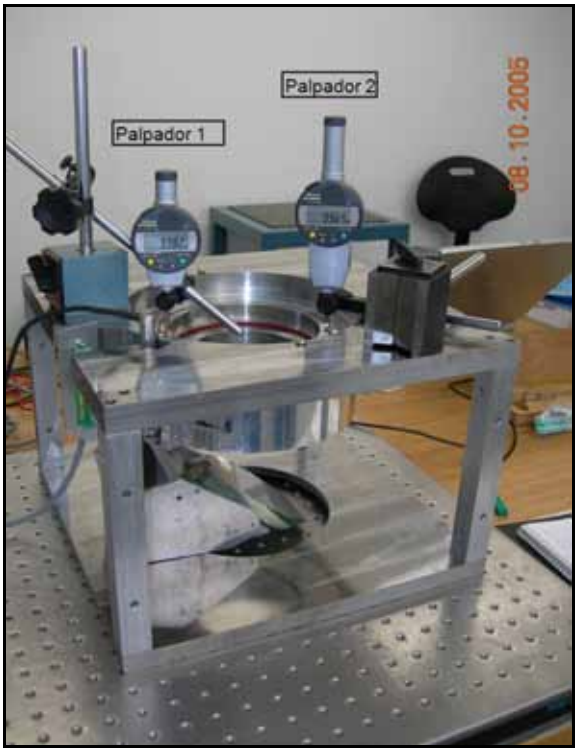


Figura 4.16. *Imagen que muestra el paralelismo del movimiento de la celda a lo largo de su traslación.*

Tabla 4.2. *Resultados de las pruebas metrológicas de la Unidad de Enfoque.*

Medición	Palpador 1 (mm)	Palpador 2 (mm)	Palpador 3 (mm)	Palpador 4 (mm)	Palpador 5 (mm)	Palpador 6 (mm)	Palpador 7 (mm)	Palpador 8 (mm)	Palpador 9 (mm)	Palpador 10 (mm)
1*	0.000	0.000	5.085	5.133	-0.004	0.001	-4.966	-4.996	0.000	0.000
2	0.018	0.025	5.087	5.132	-0.003	0.001	-4.959	-4.993	0.018	0.025
3	0.019	0.025	5.087	5.133	-0.003	0.002	-4.955	-4.993	0.019	0.025
4	0.021	0.024	5.086	5.133	0.000	0.002	-4.955	-4.994	0.021	0.024
5	0.021	0.024	5.086	5.134	0.000	0.002	-4.963	-4.996	0.021	0.024
6	0.020	0.024	5.085	5.133	0.000	0.001	-4.961	-4.994	0.020	0.024
7	0.020	0.023	5.086	5.133	0.000	0.001	-4.959	-4.994	0.020	0.023
8	0.020	0.024	5.086	5.133	0.005	0.003	-4.952	-4.992	0.020	0.024
9	0.022	0.023	5.086	5.133	0.002	0.003	-4.960	-4.992	0.022	0.023
10	0.023	0.024	5.086	5.134	0.000	0.003	-4.970	-4.991	0.023	0.024
11	0.022	0.025	5.086	5.133	0.000	0.003	-4.958	-4.997	0.022	0.025
Media	0.021	0.024	5.086	5.133	0.000	0.002	-4.959	-4.994	0.021	0.024
Error (%)	0.093	0.046	0.035	0.035	0.141	0.054	0.309	0.114	0.093	0.046
Variancia (s^2)	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000005	0.000001	0.000025	0.000003	0.000002	0.000001
Desviación estándar	0.00151	0.00074	0.00057	0.00057	0.00228	0.00088	0.00498	0.00184	0.00151	0.00074
Promedio	**0.00156**									

** Primera lectura descartada en todos los casos.*
Fecha : 21-09-2005
Palpador 1 en posición M, Palpador 2 a 180º +z en la dirección de g
Origen en posición inferior de la celda
Pasos motor: 10 mm 605000 5 mm 302500

Es necesario mencionar que la celda del doblete *D1* fue centrada con ayuda de 3 almohadillas de material con bajo coeficiente de fricción. Todo el sistema fue probado con los componentes electrónicos finales del sistema. Los cuales son: 3 sensores de posición, dos

interruptores de corte y el motor de pasos. La función de los sensores es para saber cuando el sistema está en los extremos de la carrera de traslación. Los interruptores sirven para desconectar la energía al motor de pasos en caso de que uno de los sensores no funcione adecuadamente. Todo el software y control fueron desarrollados específicamente para esta cámara y de acuerdo a las necesidades impuestas por el Telescopio *GTC*. La electrónica de la cámara no es tema de este trabajo. Finalmente, el valor promedio cuantificado con las pruebas fue de 1.56 μm valor que se encuentra dentro de las especificaciones de la Unidad de Enfoque. Podemos concluir que este valor garantiza el correcto funcionamiento de la cámara.

Soportes Radiales

El diseño de los soportes radiales a partir de modelado con elementos finitos facilitó ampliamente su desarrollo. Estos sistemas fueron probados exFErimentalmente[24]. Esta técnica consistió en proponer una configuración funcional que resolvía nuestra necesidad y en vez de hacer prototipos físicos, se generaron prototipos virtuales. La ventaja de este proceso es notoria. Los costos son menores, el tiempo de desarrollo se optimiza y su versatilidad permite conceptualizar ideas innovadoras. La distancia propuesta entre el *SR* y su respectiva celda fue de 0.50, este valor fue propuesto para dar un ajuste de holgura entre las piezas. El soporte presentó un comportamiento elástico, tal y como fue previsto (Véase Manual de Ensamble, Sección VI.5 y Figura 4.17).

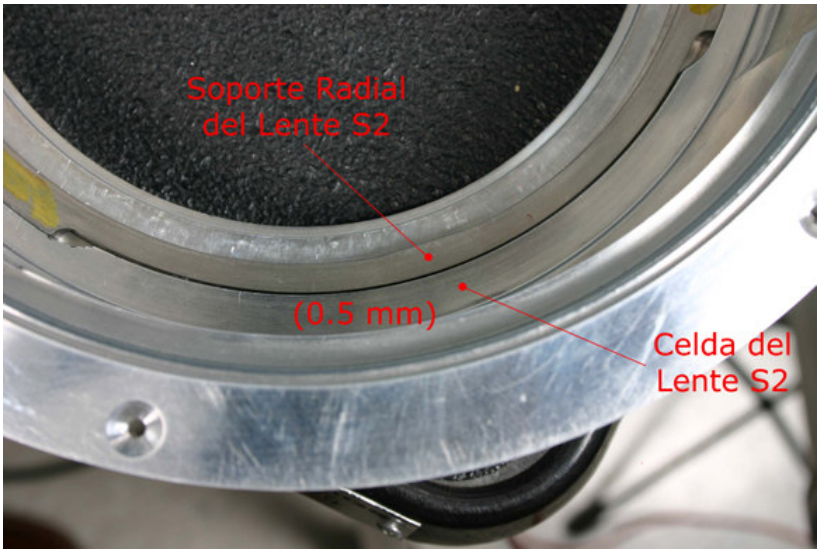


Figura 4.17. *Fotografía de los componentes del Lente S2 durante su ensamble.*

[24] ExFErimental: referente a hacer diseño iterativo a partir de Análisis por Elementos Finitos. Esta palabra es propuesta por el autor de este trabajo, basado en la idea de hacer experimentos virtuales con elementos finitos siguiendo rigurosamente el método experimental.

4.8 Publicación de los resultados

La optomecánica es un área de las ingenierías que como muchas otras, tiende a la especialización. El diseño, fabricación, así como ensamble e integración de cámaras científicas requiere de ser más desarrollada. Los requerimientos y especificaciones de instrumentos astronómicos en específico, cada día son más demandantes, lo cual impulsó este trabajo.

La cámara de *OSIRIS* se encuentra actualmente instalada en el Instrumento Científico. Las especificaciones y requerimientos para los cuales fue diseñada se revisaron, tanto en los laboratorios del fabricante (*IAUNAM)*, como en los del usuario final (*IAC y GTC*). Los valores fueron cuantificados y garantizan el correcto funcionamiento del sistema. A continuación se presentan los mismos en el artículo presentado en la revista; *"Optical Engineering*[25]*"* de la Sociedad Internacional de Ingenieros Ópticos (*SPIE*). Este trabajo fue revisado por especialistas del tema y aceptado como artículo científico para su publicación (Mayo 2008).

[25] Factor de impacto durante el año 2007 fue de alrededor de 0.897 Fuente: Thompson Reuters 2007.

Optical Engineering 47(7), 073401 (July 2008)

Optomechanical design, manufacturing, assembly, and integration of contemporary camera barrels for astronomical instrumentation

Alejandro Farah
Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Astronomía
D. F. 04510, México

Abstract. Optical systems for scientific instrumentation frequently include lenses with critical mechanical requirements. Position and rotation issues of these components are inextricably bound to the efficiency of the instrument. This work describes the optomechanical design, manufacturing, assembly, and integration of the camera barrel located in the OSIRIS imager/spectrograph for the Gran Telescopio Canarias. The barrel was developed by the Instituto de Astronomía at the Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), in collaboration with the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Spain. The camera barrel (CB) includes a set of eight lenses with their respective supports and cells, as well as two compensators: the focusing unit and the passive displacement unit, which uses the third doublet as a thermal compensator to maintain the camera's focal length and image quality with changing ambient temperature. A brief description of OSIRIS, the design criteria, optomechanical requirements, and specifications for misalignment errors and stresses are included. The camera components, analytical calculations, FEA simulations, and error budgets are also described. The iterative process of the optomechanical stages for the development of the camera are also verified and summarized. Finally, notes about fabrication, metrology, assembly, and integration are proposed as guidelines for future developments in optomechanics. © *2008 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.* [DOI: 10.1117/1.2957960]

Subject terms: astronomy; FEA; birefringence stress; manufacturing tolerances; materials.

Paper 070904R received Nov. 27, 2007; revised manuscript received Mar. 31, 2008; accepted for publication May 13, 2008; published online Jul. 31, 2008. This paper is a revision of a paper presented at the SPIE conference on Ground-based Instrumentation for Astronomy, June 2004, Glasgow, Scotland, United Kingdom. The paper presented there appears (unrefereed) in SPIE Proceedings Vol. 5492.

1 Introduction

OSIRIS consists of an imaging system and a low-resolution, long-slit, and multiobject spectrograph for the Gran Telescopio Canarias (GTC) covering the optical wavelength range of 0.365 to 1.0 μm with a field of view of $8.53 \times 8.67'$ and $8.53 \times 5'$ in direct imaging and low-resolution spectroscopy, respectively. OSIRIS belongs to a new generation of instruments with improved observational techniques for large telescopes, which includes systems like tunable filters and charge shuffling modes, among others. OSIRIS is intended to be installed on day one (expected during 2008) at the Nasmyth-B GTC focus station, although it is also designed to work at the Cassegrain focus as well[1] (see Fig. 1). This instrument has been developed by the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) in collaboration with the Instituto de Astronomía at the Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). The optical design, error budget, and instrument camera manufacturing were contributed mainly by the IA-UNAM. The mechanical components were manufactured at the Engineering Center for Industrial Development (CIDESI), Querétaro, Mexico. To enrich the field of optical engineering, notes and guidelines about design, manufacturing, assembly, and integration are included.

Figure 2 shows the optical components and nomencla-

Fig. 1 General view of OSIRIS, including the main systems and the camera barrel.

0091-3286/2008/$25.00 © 2008 SPIE

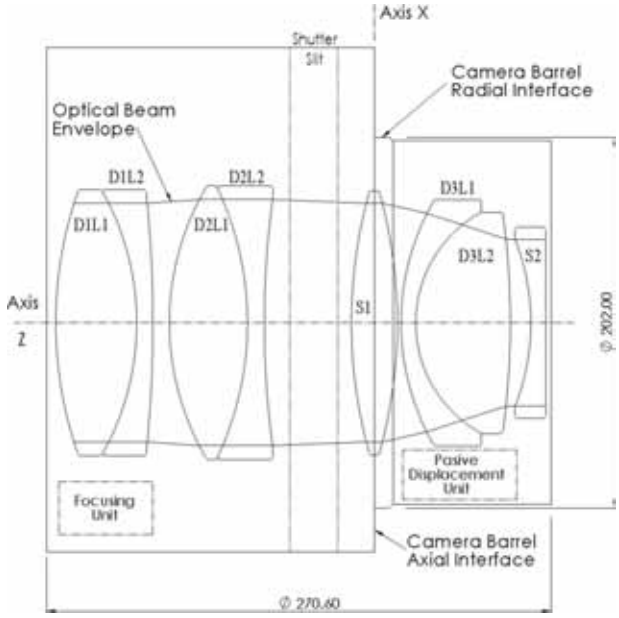


Fig. 2 General view of OSIRIS camera unit: optics, elements, nomenclature, and main barrel subunits.

ture of the OSIRIS camera unit. The camera barrel (CB) holding the optics consists of two main subunits: barrel 1, containing the cell that houses the first doublet D1 and the focusing unit that axially moves the cell to focus the camera; and a second stage, barrel 2, that houses the remaining doublets D2 and D3 and a pair of single lenses S1 and S2. The last camera lens, S3, is the window of the cryostat enclosing the two imaging charge-coupled devices (CCDs) of OSIRIS. The alignment between the barrel shown in Fig. 2 and S3 is made through a mechanical interface. The OSIRIS shutter passes through the CB between lenses D2 and S1 but, being attached directly to the OSIRIS support structure, it does not belong to the camera unit.

2 Specifications and Requirements

The design criteria, parameters, and indicators were proposed (as per mechanical requirements) to comply with CB specifications established for the OSIRIS instrument error budget.[2,3] The design temperature range is −6 to 30 °C. The CB performance under thermal variations and gravity deflections, both critical, has been fully considered during all design stages. The main design specifications in order of importance are: the lens vertex displacements and rotations relative to the optical axis (see Table 1); the maximum permissible roll for doublet lenses, which is 57 μm; and the maximum permissible stress inside the lenses and through the optical aperture, which must be less than 3.4 MPa and the maximum CB weight, which was not to exceed 47 kg. These values were obtained from the OSIRIS error budget analysis and guarantee the optomechanical performance of the camera in the instrument. All values values are related to the camera barrel local system (see Fig. 2).

3 Camera Barrel General Description

The fully assembled 3-D model of the CB is shown in Fig. 3. It is conceived as a modular design to allow for easy

Table 1 Position and tolerances for each lens with respect to the camera barrel interfaces. The values are for the vertex position of each lens along the optical axis (axis *Z*). Values obtained from Ref. 2.

	Position (mm)	Tilt (mrad)	Decenter (μm)	Axial (μm)
D1	172.64	±0.6	±150	NA
D2	110.86	±0.4	±100	±100
S1	11.78	±0.4	±50	±100
D3	−15.22	±0.4	±100	±60
S2	−85.90	±0.4	±56	±100
S3	−108.40	±0.9	±208	±223

assembly and disassembly. Every subset of lenses (D1, D2, D3, S1, and S2) is contained in its own individual cell. For efficiency during integration, each of these lenses can be accessed without disassembling the entire camera. The CB is assembled with nuts and bolts—the repeatability of this process is achieved with the aid of reference surfaces. There are four basic subassemblies in the CB and two mechanisms for compensation: the focusing unit (FU) and the passive displacement unit (PDU). The barrel's first stage, called (B1C1), contains the cell of the first doublet D1 and the FU. The second stage contains the cells for the rest of the lenses and the PDU, as well as the mechanical interfaces with the shutter and the OSIRIS support structure.

The concept of radial support (RS) for the lenses is shown in Fig. 4. It consists of a set of leaf springs laid out as a ring, having three planar references (in direct contact with the lens) to isostatically center the lens with respect to the mechanical axis of the cell. Additionally, there are three curved surfaces attached to the cell. This component is manufactured as a single solid piece. Each RS ring lies on and fits directly within the lens cell. This configuration has

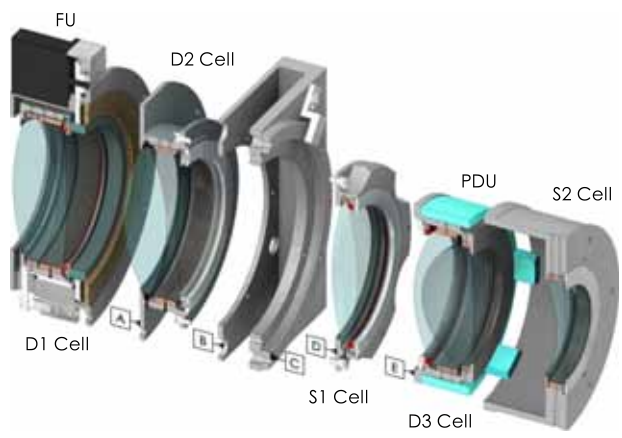


Fig. 3 General view of OSIRIS camera barrel 3-D model. The letters A, B, C, D, and E indicate the reference surface. The axial reference is labeled with C.

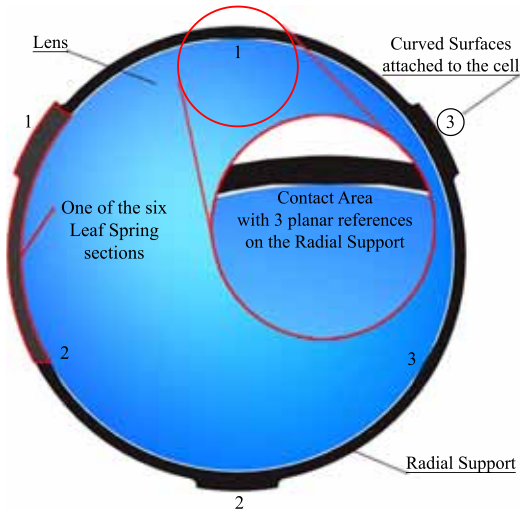


Fig. 4 Example of the lens radial support.

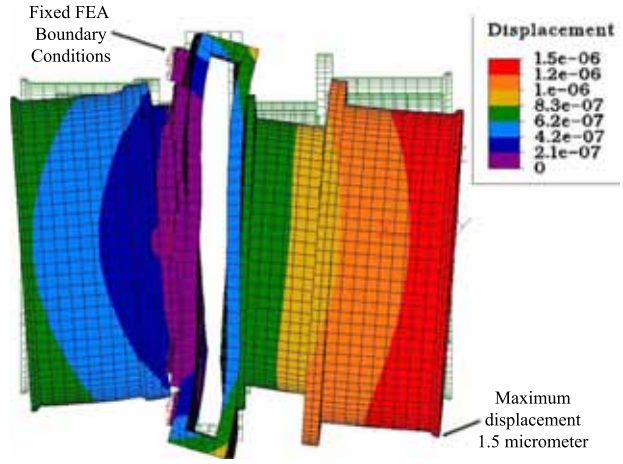


Fig. 6 CB displacements due to gravity load. In this FEA image, it is possible to quantify displacement values to prevent image motion beyond specifications. The boundary conditions simulate the interface with the instrument.

the advantage of not requiring further calibration. The axial position of each lens is referenced by sharp edged mechanical tops. To relieve thermal stresses and preload the system in the direction of the axis, a single O-ring is placed on the other surface lens (see Fig. 5). All mechanisms that must be screwed in are positioned with a specific controlled torque. The residual stresses on each lens were analyzed by means of FEA software, and are guaranteed to remain well below the specified levels.

4 Optomechanical Design

The camera optomechanical design starts by fixing nodes within the CAD model in the position of the lens vertices. These nodes are used to define planar surfaces perpendicular to the optical axis (axis Z in Fig. 2). The CB axial interface is the reference surface that constrains the positions of the lenses, and is also the reference of the camera with respect to the entire instrument. The intersection of this surface with the optical axis coincides with the origin of the camera coordinate system. The purpose of this is to place the optics of the CB in a spatial position. Following this surface, one surface for each lens was modeled in 3-D, as indicated by the optical design and the error budget (EB).

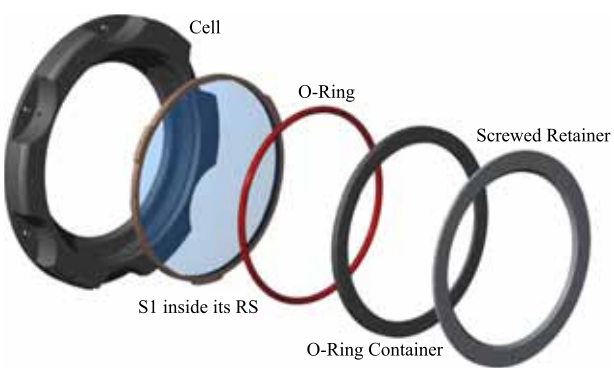


Fig. 5 B2C2 cell, holding singlet S1, as an example of cell components. The S1 cell, the radial supporting, the lens, an O-ring, and the separators are shown.

All CB lenses use a radial support to center each lens with respect to its cell, and a sharp corner edge at the cell to fix the axial position. The distance between the lens vertex and the camera reference was achieved using the length of the cells. The CAD model was used as an accurate tool to measure the distance between lens surfaces and to define cell dimensions. Without it, the quantification of these values would be very difficult and less precise. The values of the radiuses of curvature and thicknesses were taken from the final dimensions after polishing the lenses.

During the design, it was necessary to quantify mechanical and thermal stresses at the lenses, as well as displacements due to gravity and thermal loads applied on the camera barrel (Fig. 6). This is important to prevent glass breaking points, deformation of optical surfaces, or effects due to birefringence.

There are different criteria for estimating the stresses: analytical (based on empirical experiences), experimental (with the inconvenience of destructive tests—not always useful), and computer simulations (not completely developed). A comparative case was studied weighing analytical equations and computer simulations for the singlet S1. The goal was to understand the difference between stress values, as well as the limitations and accuracy of each method. The analytical equations mostly used in modern optomechanical analysis for instrumentation were proposed by Yoder[4] based on Roark's equations.[5] For example, the case of radial stresses caused by thermal expansion is described by Eq. (1) (Ref. 4, page 433).

$$S_G = -k_4 K_5 \Delta_T, \tag{1}$$

where

$$k_4 = \frac{\alpha_M - \alpha_G}{1/E_G - D_G/(2E_M t_C)}, \tag{2}$$

and

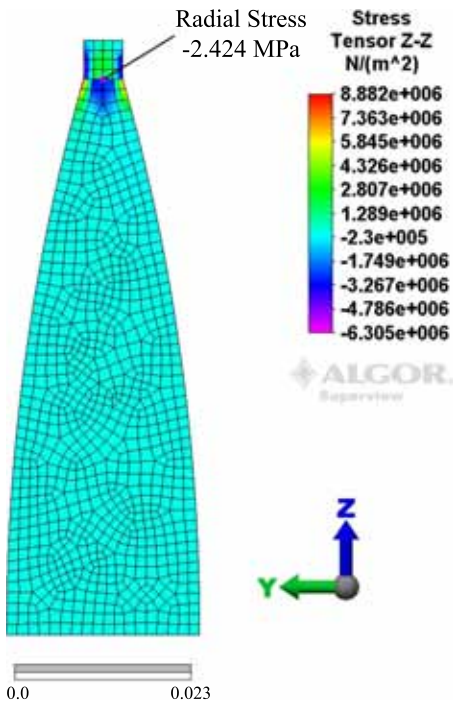


Fig. 7 Finite element model of lens S1 interacting with its radial support. The boundary conditions used included a random value of the temperature gradient of 49 °C.

$$k_5 = 1 + \frac{2\Delta r}{D_G \Delta_T (\alpha_M - \alpha_G)}, \tag{3}$$

where, S_G is the stress caused by thermal expansion on the glass; K_4 is constant, depending on the materials properties; K_5 is constant, depending on the geometry of the support and the materials coefficient of thermal expansion (CTE); Δ_T is the temperature gradient; α_M is the CTE of the metal; α_G is the CTE of the glass; E_M is the Young module of the metal; E_G is the Young module of the metal; Δ_r is radial clearance; D_G is the glass diameter; and t_C is the mount wall thickness outside the rim of the optics.

Using the characteristics of the OSIRIS lens S1 (optical glass S-FPL51Y with a Young's module of 71.6 GPa and a CTE of $13.6 \times 10-6$ °C-1) interacting with classical AL-6061 and a clearance tolerance of zero, the radial stress S_G obtained is equal to −2.1497 MPa. This equation describes only the stress tensor in one direction; however, it can be used to validate the FEA simulations (see Fig. 7). The criteria for stress failure should include the contribution of all the principal directions to represent the physical phenomena, which is not the case. Simple equations for an estimation of stress and deformation as functions of applied boundary conditions are not always available. These calculations are improved by using FEA methods, as they can yield more information about physical performance.

The stresses induced by operational strain can affect the performance of optical components used in applications involving polarized light due to the introduction of birefringence. To avoid birefringence effects in optical systems, a maximum value of 3.4 MPa is tolerable according to Yoder.[4] There is no integrated analytical equation for modeling and preventing these optomechanical effects—the only way to do it is by experimentation. Typically, the cost and production time of lenses, as is the case of OSIRIS, imply the impossibility of carrying out any kind of experiments.

Some efforts are being made to include these functions in optomechanical software; they are under user verification at this moment.[6–13] It is necessary to implement a new birefringence stress failure criteria, based on the optical stress tensor, with the capability of understanding the mechanical effects on the refraction index changes in an easier and more direct manner, without the need for optical software to calculate the optical path differences.[4,13] Such criteria will help optomechanical designers achieve more accurate camera barrels in a shorter time. For the OSIRIS camera, the variation in refractive indices due to temperature (dn/dT) were not included in the models of FE or in the optomechanical design. The effects were calculated using ZEMAX© software and evaluated with the error budget to guarantee optical performance. In the future, this type of optomechanical analysis will be integrated in the same mathematical model.[13]

At present, optical designers use computer programs to evaluate the optical performance of different lens arrays, as they can trace the light path and quantify its performance up to the CCD detectors. To design a CB, it is recommended to start with a 3-D model created from the optical design. There are some standardization formats to translate from one software to another (mechanical and optical). The most widely used format is the initial graphics exchange specification (IGS). The error budget in some instrumentation projects (like OSIRIS) is a key aspect for 3-D models. The lens vertex and the reference surfaces define the interaction between the optics and the mechanical supports (see error budgeting procedure in Sec. 8). It is recommended to also include the light path, reference surfaces, and the optical apertures of the lenses in these files. Using this methodology, the spatial position and lens dimensions will have equivalent characteristics in both design areas, thus minimizing the possibility of errors.

In the case of doublets, it is mandatory to include the characteristics of the optical couplant both in the error budget and 3-D models. There are some important design criteria to be taken into consideration: how different should the CTE of glasses and couplant be? Is it possible for the couplant to support and maintain the other lens in place without the use of a second radial support? Will birefringence stresses appear during thermal changes due to the couplant differential expansions?

The machining temperature was made to differ from the design temperature. The coefficient of thermal expansion (CTE) of the cells and the lens radial support (RS) should match that of the lens glasses. The design guidelines are directly related to the compressive and tensile stresses in lenses, together with their bulk displacements and rotations, relative to the optical axis.

The boundary conditions of the FEA and the mesh characteristics delimit the results. Obviously, the first issue to avoid is lens fracture. Simulations may help prevent this type of failure if the analysis is done in an integrated manner. It should include all the surface forces, material properties, thermal gradients, temperature range, and dimensional manufacturing tolerances. The mechanical properties

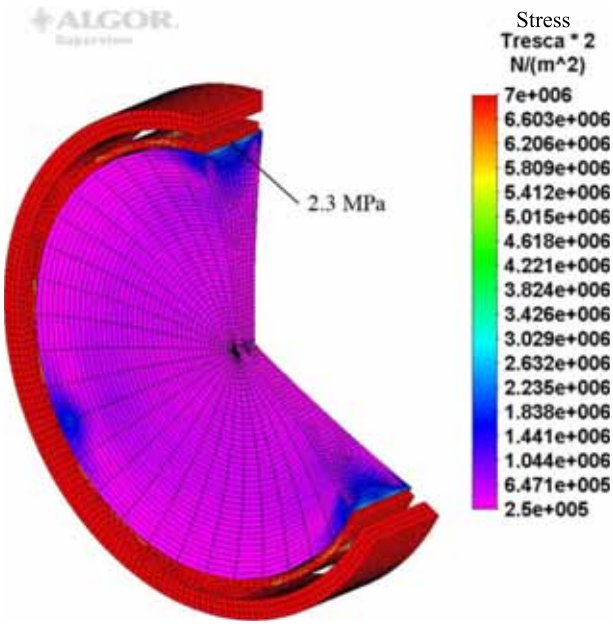


Fig. 8 Thermal stresses of D2L2 induced by the material expansion under operation temperature from −6 to 30 °C. The finite elements are radially distributed for homogeneity and accuracy purposes. The maximum stress obtained, 2.3 MPa, in the contact area is at a temperature of −6 °C. The results are within specifications (less than 3.4 MPa).

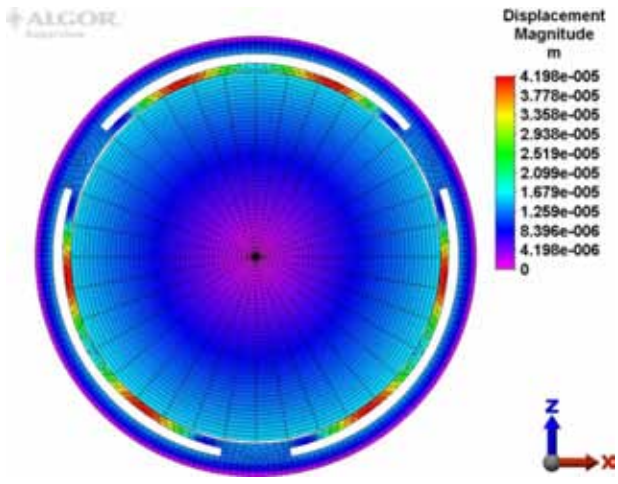


Fig. 9 D2L2 displacements due to thermal loads.

of any material can be different from the nominal values reported by the supplier. If this is the case, the stress in the lenses might vary. This variation has been studied, concluding that if the property variations are close to 15%, they can be tolerated. FEA simulation cannot model all the possible physical phenomena, making it indispensable to have a security factor. This value restricts the ease of manufacturing and directly affects the costs of the camera barrel.

The second OSIRIS doublet lens is the most critical of all the lenses in its camera, due to the fact that the thermal expansion coefficient of the second lens (S-BAL35Y OHARA) is the lowest within the OSIRIS camera, and there are not as many useful materials as for the radial supports of the other lenses.

The operational temperature limits of OSIRIS are from −6 to 30 °C. As an optomechanical design guide, the contact between the lens and all mechanical components was thought to be free of stress at a temperature of 30 °C. It implies that the maximum thermal stress (during operation limits) at the lenses will appear at −6 °C. The FE model of Fig. 8 was defined with these restrictions of temperature. The maximum stress on the lens is approximately 2.3 MPa, lower than the birefringence limit established by Yoder. It must be taken into consideration that all simulations are overestimated due to the boundary conditions, so a safety factor is included. A factor of 1.7 was used for this specific task, using the limit of operation temperature instead of the nominal conditions, which amounts to a higher temperature range. The contact between the different elements is also guaranteed and will not have mechanical backlash during the nominal temperature range from −2 to 19 °C. The FEA simulations must not only include the lens and its radial support, but also the cell, as neither component is independent from each other.

In Fig. 9, the displacements of each node are shown. The axisymmetric behavior under thermal expansion of the lens and its radial support is notable. The spatial position specified for each lens should be fulfilled to guarantee the correct performance of any camera. The FEA and manufacturing tolerances prevent optical misalignments. A high performance camera requires special care in this matter. For example, the OSIRIS camera required an entire finite element analysis to quantify the displacement contribution of each mechanical component. The simulations must include thermal and gravity loads. Also, optimization stages have to be included at this level of mechanical design. Camera dimensions and material properties have to be used as parameters to reduce stresses and deformations, as both are directly correlated. The FEA iteration during conceptual design can also be used to find an analytical equation correlating both parameters. Following these optomechanical guidelines can improve the speed and accuracy of the design stage.

The optical path, as well as the stray light and optical ghosts (including the mechanical components) of high performance cameras, need to be analyzed with specialized software. These results are not always a design directive, but in some cases they may restrict the entire optomechanical design. In the OSIRIS CB, the optical path was the design directive, in view that the contribution of the camera was minimum compared with the telescope stray light and ghosts at the detector. In another case, where the camera has an important input of these contributions (malfunctioning), it is necessary to prevent them within the mechanical design using baffles or surface treatments.

For astronomical instrumentation, the temperature range at the observatories restricts optomechanical design. The final goal is to maintain image quality during image acquisition time and throughout an entire night. It is well known that optical properties like refraction index or dispersion change with temperature. For this reason, active or passive compensators (like focusing units) are often needed. During the error budget stage of image quality and movement at

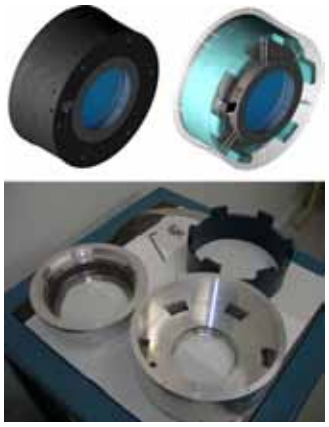


Fig. 10 The CAD model of B2C3 and a view of the PDU system components.

the detectors, it may be necessary to include compensators. Air turbulence due to heat dissipation of electrical motors degrades image quality and is not recommended for active systems during exposures. The best solution is to use a combination of materials with specific coefficients of thermal expansion to correct the quality due to temperature changes.

The third cell of barrel 2 within the OSIRIS CB contains three important components: the cells for D3 and S2, and the passive displacement unit (PDU) (see Fig. 10). The PDU surrounds cell D3 and is designed to passively compensate thermal effects. It will compensate the plate-scale variations (image motion) and image quality due to refractive index variation with temperature (dn/dT), at least within the fully operational temperature range. Passive athermalization is obtained by mounting a large CTE copolymer spacer between D3 and S2 to vary their separation at a rate of 13.1 μm/°C. As the compensator gives support to D3 and its cell, it was necessary to find a material with a high thermal expansion and the highest Young module possible. The mechanical properties of the copolymer Semitron Extruded Nylamid© were certified by a metrological laboratory at the university. The joints between the PDU and the mechanical references in the S2 cell are as rigid as possible to meet the athermalization requirements, and were verified using FEA. Prior to critical design, the final dimensions of the PDU were adjusted to match the expected thermal behavior of the actual camera optics (glasses and metals). The maximum displacements due to gravity loads were estimated and included in the final error budget.

5 Camera Barrel Manufacturing

The camera cells were first machined separately and then metrologically verified to guarantee adjustment tolerances and coincidence of mechanical axes. The dimensions of the camera were rectified until the specified values were achieved in metrology. With the exception of the shutter interface, aluminum (Alumold 1-500©) was selected as the main material for the OSIRIS CB because of its low mass density, stiffness, and machinability. For components that need a higher stiffness than aluminum, steel was proposed (AISI 4140). This is the case of the shutter interface, the focusing unit gears, and others. The machining process was made with CNC equipment to comply with geometrical and dimensional tolerances. All designed components were exported to numerical control machines from CAD models following CAM technology.

The RS represents the interface between the lens and the cell. The dimensions of the RS are based on the final dimensions of the finished lenses with a tied tolerance of 0.01 mm (see Table 2). To avoid stress concentration, the RS contact with the lens should be as homogenous and precise as possible. During manufacture, it is important to calculate and keep in mind the actual piece size at the relevant temperatures (design and shop temperatures as well as frictional heating). To obtain the alignment between optical and mechanical axes, the contact areas should describe an equally matched circumference with the geometry of the finished lens. For this process, it is important to define a reference point. The cell axes should be as coincident as possible to guarantee CB concentricity. The cell machining process can be carried out with a fixed reference point during the different processes. To achieve this, it was necessary to leave components at room temperature in the metrology laboratory for at least two days to ensure measurement accuracy. It was done in this manner to allow the material to reach elastic equilibrium following manufacture.

6 Lens Manufacturing

The optical design and manufacturing took place in Mexico, at the Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). It was necessary to implement new polishing techniques within the laboratories to achieve the radius of curvature and the tolerances for each lens. Different glass materials with particular mechanical properties were used and all optical surfaces were

Table 2 OSIRIS lenses metrological report. 1 is the measurement of the blank diameter at 19.5 °C and 45% humidity. Measurement error of 1 μm. 2 is the maximum difference between several measurements of blank diameter. 3 is the average of the surface roughness measurement. Error of measurement is 0.14 μm. Units are in millimeters.

	D1L1	D1L2	D2L1	D2L2	S1	D3L1	D3L2	S2
1.	144.659	144.944	148.657	148.944	143.996	133.920	120.462	103.914
2.	0.008	0.007	0.003	0.009	0.006	0.010	0.000	0.007
3.	0.004	0.002	0.007	0.002	0.010	0.001	0.004	0.010

Fig. 11 Image of lens S1 with coatings in its container for protection. The bottom image is the transportation briefcase for three of the eight lenses.

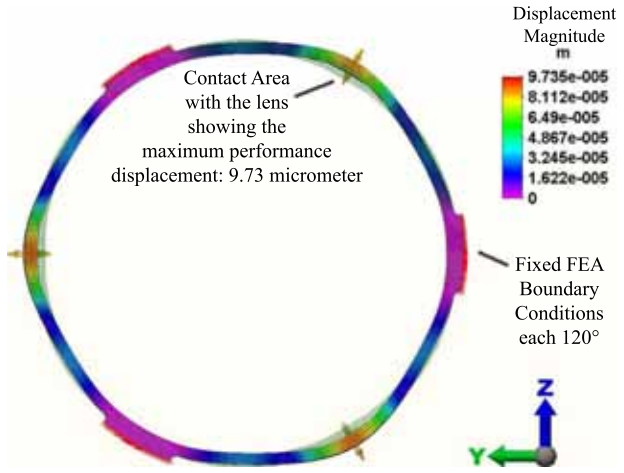


Fig. 12 FE simulation of the traction screws pulling the leaf springs of the RS.

successfully generated and polished, fulfilling the error budget. For astronomical goals, the OSIRIS lenses required special coatings and couplants (doublets only). For this reason, the lenses were sent to a specialized optical factory (Fisba Optik AG and Z C and R). Optomechanical containers were used for lens transportation, minimizing cracking or scratching risks. The containers must not be in contact with the optical surfaces, and humidity and stress failure must be avoided to guarantee lens integrity.

To manipulate the OSIRIS lenses with coatings and couplants, all possible precautions were taken. Gloves and mouth covers were mandatory. Any trace of fat or grease would not be easy to clean, and for optical performance, all the manufacturing processes would otherwise have to be repeated. Temperature impact was avoided using the cases shown in Fig. 11.

The assembly tolerances were calculated, taking the final dimensions of the lens and the operation temperature of the instrument into account. Using a coordinate measure machine (CMM), the final diameter, concentricity, and cylindricity of the lenses were measured. The accuracy and tolerances of these dimensions were above 1 and 2 μm, respectively. The purpose of this process was to achieve the best adjustment for the optomechanical assembly between lenses, radial supports, and cells.

7 Optomechanical Integration

During optomechanical design, different temperatures must be considered. Assembly, design, and manufacturing temperatures might be the same but it is very uncommon. For example, the OSIRIS CB has three different associated values. Assembly temperature was regulated to 22 °C and design temperature was proposed to be 8.5 °C to comply with the convention set for all the working groups of the project. The importance of this agreement must be emphasized, because otherwise, the different instrument subsystems could not possibly be coupled into the telescope interfaces.

For optomechanical designers, the design temperature is the most important of all. In all drawings and 3-D models, the dimensions and tolerances were translated from design temperature to the mechanical workshop temperature. This simple conversion contemplates thermal expansions and contractions of the material to be manufactured, and helps accomplish the optomechanical design. Otherwise, different failures could appear: birefringence, misalignment, or even fracture.

The radial supports were manufactured using electroerosion numerical control machines. In this manner, the stresses acting on the material due to the tools were minimized, and elastic deformations during the machining process were also avoided. It is essential to keep this issue in mind during the design and error budget stages.[14–16] The cost of this process is higher than conventional machining. The fitting between the lenses and RS of the OSIRIS camera was under 10 μm, and it was necessary to implement it for all RS (see Fig. 12).

The leaf springs of each RS have auxiliary traction screws to aid optomechanical integration. The operation of this mechanism is very simple and allows the lens to fit freely and easily into its cell. In Fig. 13, the FEA used to predict deformations and stresses in the RS is shown. These calculations were made in the early stages of optomechanical design, and all the values were satisfactory. The maximum stresses presented in the RS material were below the plastic limit. The displacement due to the traction force of the screws was around 0.3 mm (Fig. 14).

The polishing process of a lens generates radii of curvature and thicknesses of material approximate to the specified values. It is impossible to make a perfect lens (at least not at present). Furthermore, mechanical component manufacturing and its optomechanical assembly for the positioning of the optics generate lens vertex position uncertainties along the optical axis. For these reasons, it is necessary to use a mechanism to compensate all these errors, commonly called a focusing unit. Almost any optical system for astronomical research requires a similar system. Even more so, the unit for the OSIRIS instrument works together with the system of grisms and filters. The reason for this is to correct the position of the focus along the optical axis when a change of configuration is need. The specific requirement for the optical design is to translate the doublet D1 axially by ± 2 mm to accomplish all the configurations.

Fig. 13 Deformation achieved due to traction force of the screws; before and after.

The OSIRIS focusing unit provides 2 μm of resolution and a repeatability of 20 μm in the entire path of 12 mm (see Fig. 15). The most difficult issue to solve during its optomechanical design was the parallelism and perpendicularity of D1 in all positions. The unit included a miniature rail guide (SKF©) to minimize all the momenta and possible misalignments of the optics with respect to the barrel itself due to movement. A commercial stepper motor (Parker©) with the highest existing torque and ability to fit into the envelope of the CB and the entire instrument was used. The backlash was treated carefully using helicoidal gears and three preloaded springs. For the manufacturing process, the homogeneity and symmetry of the gears were very important, since the imperfections could cause the systems to collapse and become stuck. The preloaded springs also helped to make the focusing unit as robust as required to comply with specifications. Multiple sets of springs were tried without success. In this respect, the main problem was to find the correct spring rigidity (k=0.33 kg_f/mm) and

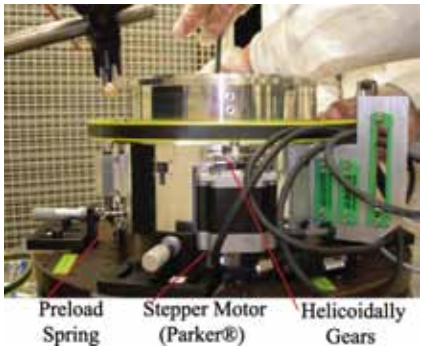


Fig. 14 Focusing unit during assembly and verification.

Fig. 15 ALBATROS alignment bench at the Instituto de Astronomia.

capability of fitting into the design. Commercial springs were inaccurate, and were thus manufactured empirically. It is highly recommended not to use stainless steel for optomechanical systems (including springs), as it has a low fatigue strength, which generates dimension changes under stress within a short time.

The integration process of the OSIRIS CB was made using an optical alignment bench. This tool works vertically and allows the user to align the optical axis of a lens with its mechanical axis. It was designed and built at the Instituto de Astronomía and is dubbed ALBATROS. After the first lens collimation, another set of lenses can be aligned and the misalignment error can be quantified with a tolerance of 10 μm. All of the camera cells were aligned using this tool (see Fig. 16). One by one, the alignment of each cell with respect to the others was made. The CB design manufacturing tolerances ensured the optical and mechanical axis alignment. ALBATROS was used for verification during the integration process.

Fig. 16 OSIRIS camera barrel totally assembled.

Table 3 Metrological report of the sharp-corner position for each lens. Measurement at 20.0 °C and 45% humidity. Error of measurement 1 μm. Units are in millimeters.

Component	Sharp-corner position from reference			Diameter of the sharp corner		
	Design	Measured	Difference	Design	Measured	Difference
CD1	3.89	3.90	0.01	136.85	136.85	0.00
CD2	22.05	2.061	0.01	141.00	140.987	0.012
Shutter	Reference	Reference	Reference	Reference	Reference	Reference
CS1	5.30	5.289	0.011	136.00	136.002	0.002
CD3	58.52	58.525	0.005	112.60	112.605	0.005
CS2	18.840	18.849	0.0088	NA	NA	NA

The most difficult design requirement specified for the CB was the assembly repeatability. It required that the camera be assembled and disassembled without any further optical alignments. The importance of this restriction is clear: to optimize time and costs for maintenance of the optical and mechanical components, omitting the use of a specialized laboratory to verify the correct alignment of the lenses after this preventive or corrective labor. It also is important due to the high cost per night of astronomical observations with the GTC telescope using the OSIRIS instrument.[17]

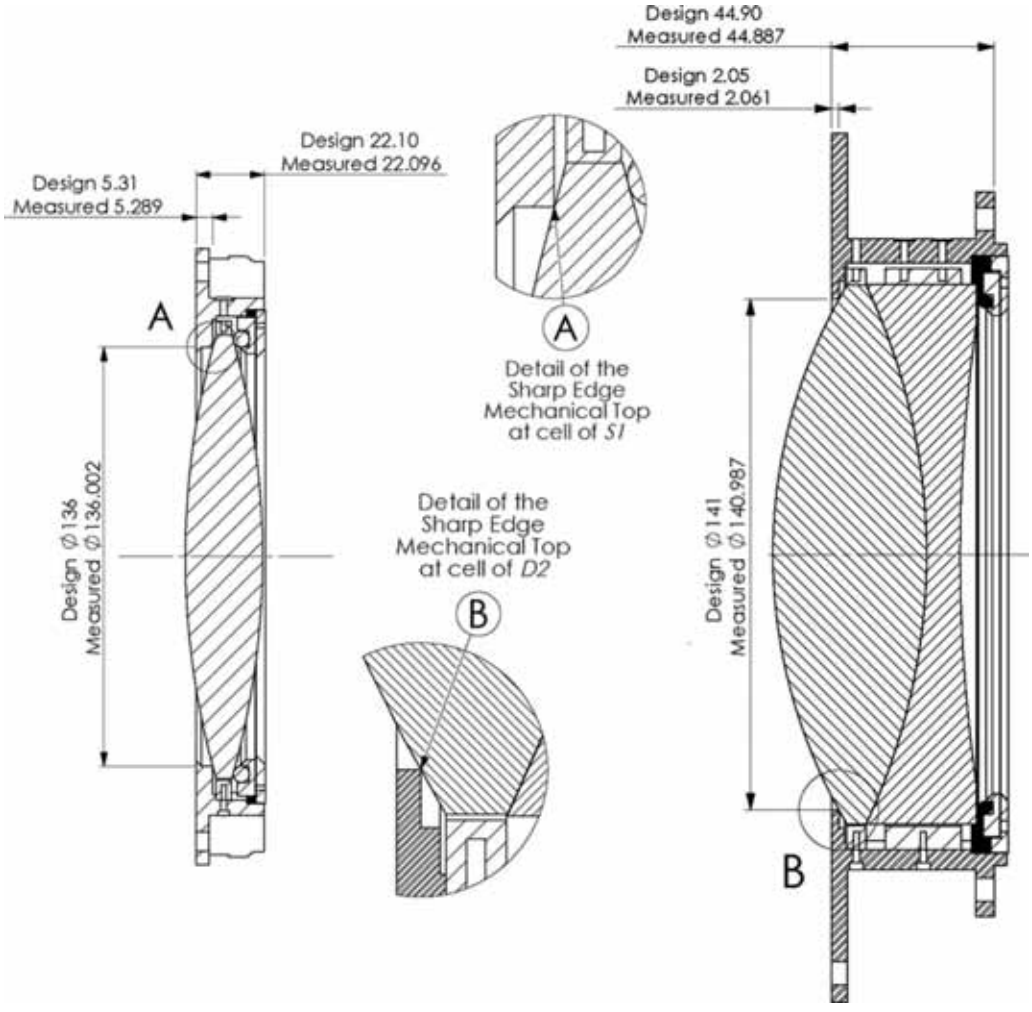


Fig. 17 Metrological drawings report of the sharp-corner position.

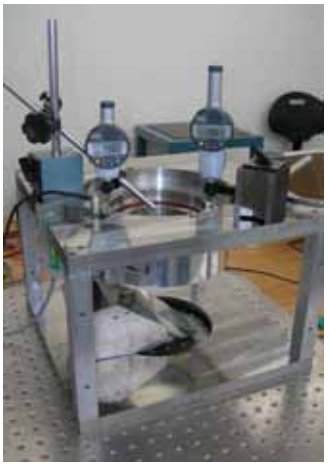


Fig. 18 Focusing unit during characterization process. The depth gages show the values of a specific position of the focusing unit. It is also possible to quantify the tip-tilt movement of the lens inside the mechanism.

The nights of observation must be continuous during all the research goals. It should be possible to give maintenance to the camera during the day, with the exception, of course, of the replacement or coating of the lenses.

8 Error Budget Procedure

The quality and movement of the image at the CCD using the entire astronomical instrument must be evaluated before and after construction. It is not possible to think of an empirical development of these instruments. Cost and production time motivate the need of an in-depth project feasibility evaluation. One of the most modern ways of achieving this is the EB procedure. Basically, it consists of numerical simulations and analytical calculations to predict the instrument's performance under its requirements and specifications. For instance, all the manufacturing and measuring tolerances, errors, operational and survival ranges, displacements and rotations, and thermal and gravitational stresses and deformations, to mention some, are discretized into specific budgets for each optomechanical component, guaranteeing the correct functioning of the instrument before its construction. In this way, it is possible to break the design into different tasks to be achieved by each designer involved in the project. The EB works as a product tree including all mistake possibilities and quantifying the performance of the instrument as a whole. Normally, the systems engineer executes this procedure, feeding it with all the data mentioned before, and orchestrates the budgeting for each component. This procedure is similar to the design and construction of several configurations of an instrument and a virtual evaluation before purchasing any components.

An important issue to achieve in the optomechanical design of camera barrels for astronomical instrumentation is the mechanical interface definition. It represents the connection between optics, mechanics, and error budget tree. These surfaces ensure the placement of lenses and subsystems in the instrument coordinate system of reference. When the complexity of an instrument requires the definition of multiple subsystems at the product tree, these references are important to prevent possible interferences during assembly and integration.

Table 4 Characterization of the focusing unit (worst case). Gravity vector for three directions. Error and measuring tolerances were included in the error budget.

Precision	Repeatability	Parallelism
1.67E−06 m	5.90E−06 m	0.04

To position a lens, it is necessary to use at least three mechanical references: axial, radial, and spatial. The first places the lens vertex into its position at the optical axis. The second defines the perpendicular distance between the optical lens and the mechanical axis of its cell. The spatial reference, which can be solved with multiple geometrical entities, defines the final position of each component with respect to the global system. During all design stages (conceptual, preliminary, and detail), these surfaces translate positioning and rotational errors and tolerances of single components, groups of components, and also subsystems into the error budget procedure. This is how the imaging performance can be evaluated in specialized software such as ZEMAX or CodeV.

9 Optomechanical Final Measurements

In the OSIRIS CB design, the sharp edge was the easiest and most accurate mechanical reference to provide axial lens position. These edges allow us to position the lens vertex with tolerances better than 10 μm relative to its cell.[18] Table 3 shows all the values of the sharp-corner lens positions measured from their reference surface (see Fig. 17).

The focusing unit (FU) error budget included the sharp-corner position measured from the reference and its mechanical performance along the entire linear path. Once the mechanism was assembled, it was submitted to several tests including precision, repeatability, and parallelism. The

Table 5 Maximum acceptable image decentering.

Components	From design (mm)	Measured (mm)	%
D1 cell	0.434	0.104	24
D2 cell	0.434	0.104	24
S1 cell	0.171	0.094	55
D3 cell	0.440	0.102	23
S2 cell	0.165	0.076	46
D1 cell and FU	0.434	0.084	19
(S1, D3 and S2) cells	0.400	0.112	28
D1 cell, FU and D2 cell	0.463	0.104	22
The entire CB	0.538	0.066	12
The entire CB and S3 cell	1.063	0.384	36

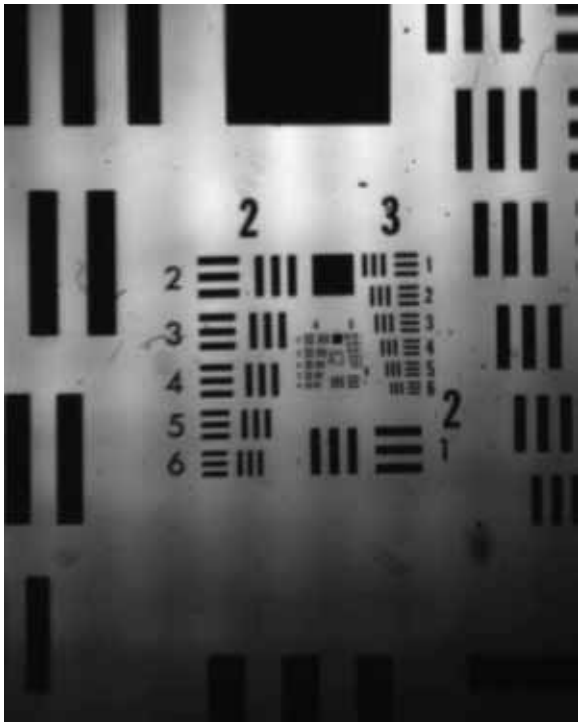


Fig. 19 Image of a USAF target with OSIRIS CB.

measurements were made in the assembly laboratory with controlled room temperature and humidity. Figure 18 and Table 4 show the the characterization of the focusing stage. Parallelism refers to the parallel movement of the unit.

The integration process began with the assembly of each lens (singlets and doublets) into their respective cell. Subsequently, each subassembly (D1 cell, D2 cell, S1 cell, S2 cell, and D3 cell) was tested at the alignment bench (see Fig. 15). The purpose of these measurements was to quantify the centering of the images at the lens with respect to the mechanical axis of the cell. For this, it was necessary to center each cell at the optical bench, and then, using the image formed at the telescope for alignment, the difference between optical and mechanical axes was measured. This procedure was repeated for the step-by-step assembly of the cells until the camera barrel was completely integrated. The maximum acceptable decentering of the image is shown in Table 5. It includes the values calculated from the design and the equivalent from the components once integrated. It is broken down into cells, subassemblies, the entire CB, and finally including the S3 cell. These values prove that the error budget for decentering was satisfied and that the maximum misalignment between axes for the camera barrel (including the S3 cell) is 36%. An interesting conclusion of these experimental results is to realize that the accumulation of errors helps to minimize the final error. The total performance of the CB will be measured once it is placed at the GTC telescope. Another similar test was performed on the CB axial interface (see Fig. 2) to evaluate the tilt of the planar surface. The maximal angle measured was 2.5 arcsec (equivalent to a difference in heights of 2.5 μm in a length of 200 mm), which was tolerable in the error budget of the OSIRIS instrument.

Figure 19 shows an image of the USAF target through the camera. This target was placed at the focal plane and was taken with the entire OSIRIS instrument (folder mirror, collimator, and all CB lenses). The image was observed through a telescope in all x and y directions inside the optical aperture of the camera. At the central field, it is possible to visualize group 7, element 5 of the target. These group values satisfy the camera resolution specifications.[19] In the worst case, at a distance of 36 mm from the optical center, an image of the target satisfies all the expectations for group 6, element 6.

First light of the GTC telescope was captured on 20 July 2007. As of this writing, the assembly-integration-verification (AIV) process of the OSIRIS camera barrel into the entire instrument has been successful.[20,21] The specifications and requirements were satisfied, and it is expected to start being used on OSIRIS during 2008.[22]

The Instituto de Astronomía at the Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) has improved the technology for camera barrel development for scientific instrumentation and is capable of designing, manufacturing, assembling, and verifying high performance cameras.

Acknowledgments

The OSIRIS group of the Instituto de Astronomíain Mexico is indebted to the GRANTECAN Project Office and to the Instituto de Astrofísica de Canarias. The optomechanical design of the camera barrel could not have been possible without the collaboration of multiple scientists and engineers. We want to give a special acknowledgement to F. Javier Fuentes (mechanical system engineer) for the idea exchange concerning design, J. JesúsGonzález G. (coinvestigator) for all the heated discussions about thermal analysis in optomechanics, Carlos Espejo (optics and mechanics) for the patience to measure and comment on all the CB assemblies and systems, Carlos Tejada (optics) for all the the optics design transfer to the optomechanical design, Francisco Cobos (optics) for all the advice on living as a designer, Rubén Flores (electronics and control) for solving the electronics step by step, and to Beatriz Sánchez and Ángeles Pérez (management between Spain and Mexico) for all the management problems they skillfully solved. Thanks to Élfego Ruíz for the inspiration he gave us, and the trust he put in this work.

References

1. J. Cepa, "OSIRIS imaging and spectroscopy for the GTC," *Astrophys. Space Sci.* **V263**(1/4), 369–372 (1998).
2. J. Fuentes, "Camera unit specifications," Instituto de Astrofsica de Canarias, Spain (2001).
3. A. Hatheway, "Error budgets for optomechanical modeling," *Proc. SPIE* **5178**, 1–13 (2004).
4. P. Yoder, *Mounting Optics in Optical Instruments*, SPIE, Bellingham, WA (1995).
5. W. C. Young, *Roark's Formulas for Stress and Strain*, 7th ed., McGraw-Hill, New York (2002).
6. K. B. Doyle, V. L. Genberg, and E. R. Frenier, "Numerical methods to compute optical errors due to stress birefringence," *Proc. SPIE* **4769**, 34–42 (2002).
7. V. L. Genberg, G. J. Michels, and K. B. Doyle, "Making FEA results useful in optical analysis," *Proc. SPIE* **4769**, 24–33 (2002).
8. G. J. Michels, V. L. Genburg, and K. B. Doyle, "Finite element modeling of nearly incompressible bonds," *Proc. SPIE* **4771**, 287–295 (2002).
9. K. B. Doyle, G. J. Michels, and V. L. Genberg, "Athermal design of nearly incompressible bonds," *Proc. SPIE* **4771**, 296–303 (2002).

10. K. B. Doyle, J. M. Hoffman, V. L. Genberg, and G. J. Michels, "Stress birefringence modeling for lens design and photonics," *Proc. SPIE* **4832**, 436–447 (2002).
11. V. L. Genberg, K. Doyle, and G. Michels, *Optical Interface for MSC Nastran*, Sigmadyne, Inc., New York (2004).
12. V. L. Genberg, *Opto-Mechanical I/F for ANSYS*, Sigmadyne, Inc., New York (2004).
13. K. B. Doyle, V. L. Genberg, G. J. Michels, *Integrated Optomechanical Analysis*, SPIE Press, Bellingham, WA (2002).
14. G. E. Dieter, *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*, (1991).
15. H. Rothbart, *Mechanical Design and Systems Handbook*, 2 ed., Univ. of Cambridge Press, Cambridge, UK (1985).
16. J. Shigley and C. Mischke, *Mechanical Engineering Design*, 5a ed., McGraw-Hill, New York (1989).
17. J. C. Gonzlez, "Integrated logistic support applied to the GTC maintenance and operations, GTC project," Instituto de Astrofsica de Canarias (IAC), Spain.
18. K. Sawyer, "Contact stresses and their optical effects in biconvex optical elements," *Proc. SPIE* **2542**, 58–69 (1995).
19. F. J. Cobos Duenas, J. Gonzalez-Hernandez, C. Tejada, J. Cepa, and J. L. Rasilla, "OSIRIS optical design," *Proc. SPIE* **4008**, 237–243 (2000).
20. A. Farah, "Camera barrel mechanical calculations," in Instituto de Astronoma (UNAM), Mexico (2003).
21. J. J. Gonzales, C. Tejada, A. Farah, J. L. Rasilla, and F. J. Fuentes, "Thermal effects and thermal compensation in the OSIRIS camera," *Proc. SPIE* **4841**, 1480–1486 (2003).
22. J. Cepa, "OSIRIS: a tunable filter spectrograph for the GTC 10 m telescope," *Astronom. Soc. Pacific Conf.* **195**, (2000).

Alejandro Farah received his PhD degree in mechanical engineering from the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) in 2008. He works at the Instituto de Astronomía at UNAM. His work is specialized in optomechanical design, astronomical instrumentation, and project management. His current research interests include applied finite element theory in optomechanics and stresses of birefringence in optics.

REFERENCIAS

1. Fuentes Javier, *Camera Unit Specifications*, Instituto de Astrofísica de Canarias, España.
2. Farah Alejandro, *Camera Barrel Mechanical Calculations*, Instituto de Astronomía (UNAM), México 2003.
3. Farah, Alejandro, *Camera Barrel Preliminary Design*, Instituto de Astronomía (UNAM), México 2003.
4. Yoder, Paul, *Mounting Optics in Optical Instruments*, SPIE, EUA 2000.
5. J. Jesús González, C. Tejada, A. Farah, J. L. Rasilla, F. J. Fuentes, "*Thermal Effects & thermal compensation in the OSIRIS camera"*, SPIE Proceedings, Astronomical Telescopes and instrumentation, 2002.artículo descripción del compensador térmico.
6. Cruz-González, Irene, *Proyecto del Telescopio Óptico-Infrarrojo Mexicano*, Instituto de Astronomía (UNAM), México 1998.
7. Collins, *Mechanical Design of Machine Elements and Machines*, John Wiley & Son, 2000.

8. Dieter, George E., *ENGINEERING DESIGN A Materials and Processing Approach*, U. De Chicago, 1991.
9. Rothbart, *Mechanical Design and Systems*, Handbook, 2ª edición, University of Cambridge, E.U.A., 1985.
10. Popov Egor, P., *Mechanics of Materials*, Prentice-Hall, 2ª edición.
11. Shigley and Mischke, *Mechanical Engineering Design*, quinta edición, McGraw-Hill, E.U.A., 1989.
12. Hayrettin Kardestuncer (editor jefe), *Finite Element Handbook*, McGraw-Hill, México 1987.
13. Segerlind Larry, *Applied Finite Element Analysis*, 2ª edición, editorial John Wiley & Sons, E.U.A., 1984.
14. Pilkey Walter, D., *Mechanics of structures: Variational and Computational Methods*, CRC Press, Inc., Florida, E.U.A., 1994.
15. Logan, D., *A First Course in the Finite Element Method using Algor*, editorial Publishing Company, E.U.A., 1997.
16. *Optical Engineering*, SPIE December 2002 Vol.41 No.12.
17. *Optomechanical Design and Engineering 2001*, San Diego 2001, SPIE Vol. 4444.
18. Cantó Ibañez, Jorge, Diseño mecanico de la unidad de enfoque del barril de la camara de osiris para el gran telescopio Canarias, Tesis para obtener el Grado de Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.

5. ENSAMBLE, VERIFICACIÓN E INTEGRACIÓN

El éxito del funcionamiento de un instrumento científico depende de muchos factores. Desde la elaboración de los objetivos científicos hasta la operación del mismo, pasando a través de todas las etapas de diseño, su fabricación, ensamble, integración, pruebas, verificación y aceptación. El esfuerzo que se realiza respecto al desarrollo de todas estas etapas sería en vano si el usuario final no tiene la capacidad o posibilidad de usar el instrumento adecuadamente. Existen diferentes niveles o tipos de usuarios, tales como; del instrumento, de mantenimiento, de corrección, incluso para actualización. Por ello es necesario desarrollar manuales diferentes parea cada uno de los usuarios. Siguiendo esta lógica la Cámara de OSIRIS cuenta con un manual de ensamble y desensamble, tanto para mantenimiento preventivo como correctivo (véase Figura 5.1). Al ser este un subsistema del instrumento y no estará en contacto directo con el usuario no existe un manual de usuario de la cámara.

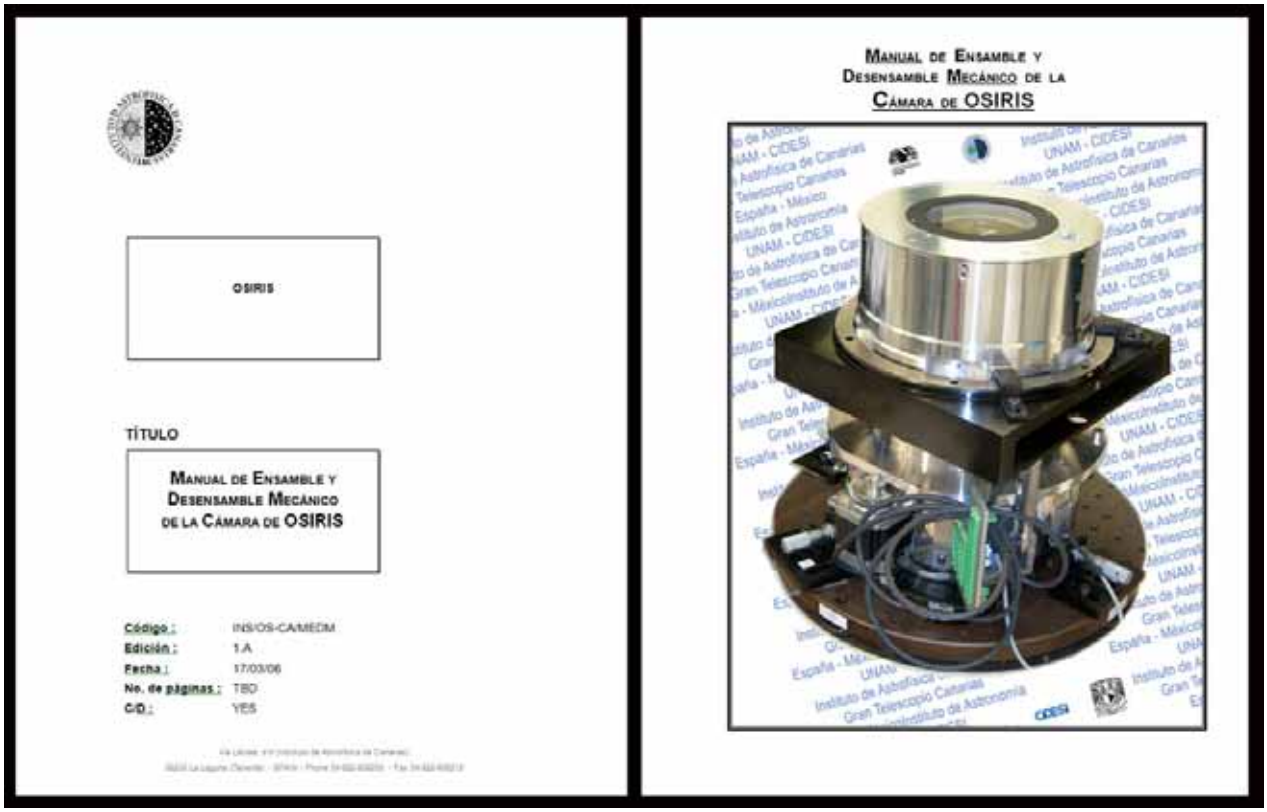


Figura 5.1. *Manual de Ensamble y Desensamble de la Cámara del Instrumento Astronómico OSIRIS.*

5.1 Resumen

En este documento se describe, paso a paso, el método de ensamble y desensamble de los componentes mecánicos, electrónicos y ópticos de la Cámara de OSIRIS.

5.2 Introducción

La cámara se divide en dos barriles, Barril 1 y Barril 2. El primero compuesto por la celda del doblete 1 y la Unidad de Enfoque. El segundo por las celdas de los singletes 1 y 2, y los dobletes 2 y 3, así como por la Unidad de Compensación Térmica (véase Figura 5.). El total de lentes que tiene el barril de la cámara es de ocho. El noveno componente del sistema óptico es la ventana del crióstato, para el cual no es incluido el método de ensamble y desensamble en este manual.

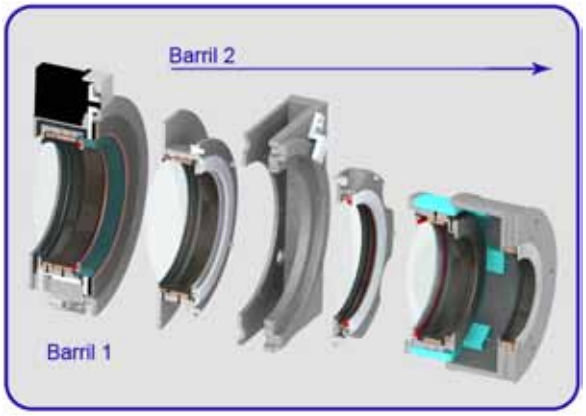


Figura 5.2. *Descripción general de la Cámara de OSIRIS.*

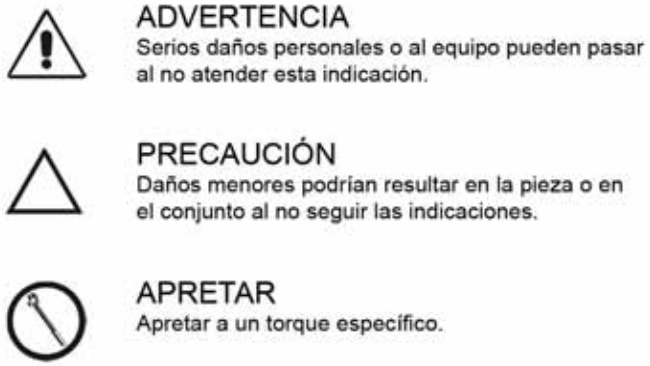
En el Apéndice F se muestra la lista de componentes mecánicos, electrónicos y ópticos que conforman la Cámara de OSIRIS. La Lista de Componentes está desarrollada para cada Celda y Unidad, incluye también los componentes mecánicos así como las herramientas adicionales necesarias para el ensamble y desensamble del BC.

5.3 Instrucciones de uso

Previo a cada paso de ensamble o desensamble hay un cuadro informativo que señala los componentes a ser utilizados. También muestra las indicaciones preventivas y los símbolos específicos que aplican a ese proceso. A continuación se muestran algunas advertencias generales a todo el proceso de ensamble o desensamble de la cámara y los símbolos que se usan en este manual.

5.3.1 Advertencias generales:

5.3.2 Simbología:



CHOQUE ELÉCTRICO
Posible choque eléctrico.

PROTECCIÓN PARA LOS OJOS
Indica el uso de lentes de seguridad.

DESCARGA ELECTROSTÁTICA
Posible descarga electrostática

DESENSAMBLAR
Indica un desensamble específico.

ENSAMBLAR
Indica un ensamble específico.

EXCEDE EL PESO
Utilizar equipo adecuado para mover (mayor a 23 kg).

FLAMABLE
Material flamable.

DESCARGA ELECTROSTÁTICA
Posible descarga electrostática.

HERRAMIENTA ESPECIAL
Utilizar la herramienta especial indicada.

INFORMACIÓN ADICIONAL
Consultar la información adicional indicada.

INFORMACIÓN
Incluye información adicional.

INSPECCIÓN
Requiere de inspección visual.

LIMPIEZA
Limpiar antes de ensamblar.

LÍMITE DE TEMPERATURA
Indica la temperatura máxima permisible de operación

LUBRICAR
Requiere que la pieza o el ensamble sea lubricado.

MANEJAR CON CUIDADO
Manejar con cuidado y atención la pieza o ensamle.

MEDICIÓN ELÉCTRICA
Requiere de una medición eléctrica.

MEDICIÓN
Es necesario realizar mediciones para lograr el correcto ensamble de las piezas.

PROHIBIDO
No realizar la operación indicada.

NO DESENSAMBLAR
Indica que no se debe desensamblar la pieza o el ensamble.

NO GOLPEAR
Las piezas o el ensamble no debe ser golpeado, ni recibir ningún tipo de impacto.

PARTES EN MOVIMIENTO
Indica que hay partes en movimiento. Se debe tener precaución para evitar accidentes.

PROTECCIÓN PARA LA CABEZA
Indica el uso de casco de seguridad.

USAR GUANTES
Es necesario el uso de guantes. En específico para la cámara se deben usar guantes de polietileno.

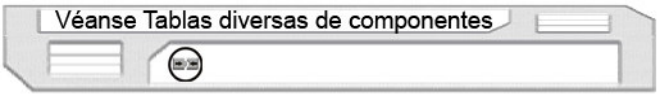
5.4 Niveles de mantenimiento

Los niveles de mantenimiento establecidos por el GTC se dividen en:

Nivel 1: en el sitio del GTC.
Nivel 2: en el IAC.
Nivel 3: en las instalaciones del proveedor.

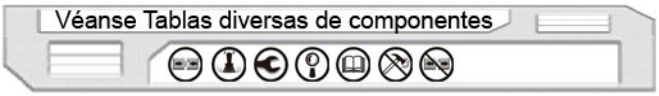
Las instrucciones de este manual fueron desarrolladas para los niveles 1 y 2 establecidos por el GTC. Cuando el nivel sea 3 estará debidamente indicado.

5.5 Ensamble optomecánico

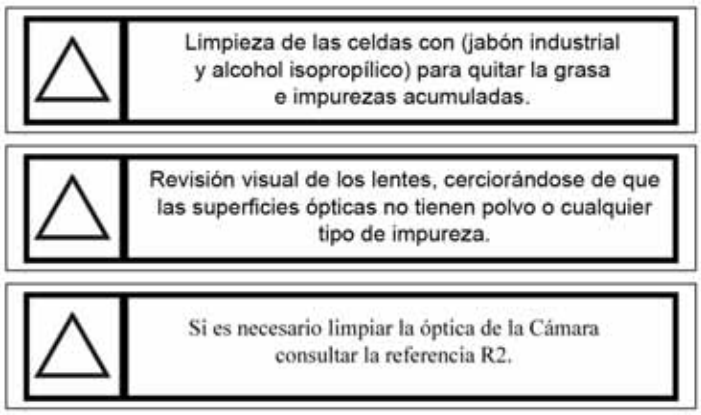


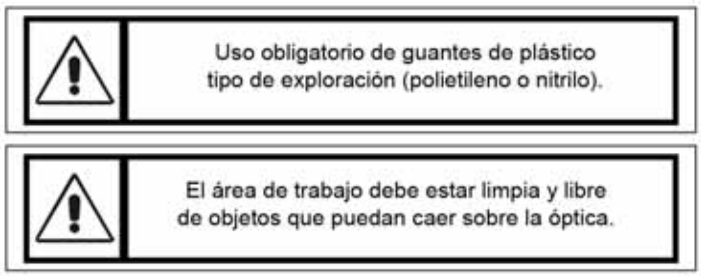
En esta Sección se describe el procedimiento para ensamblar los lentes de la óptica de la Cámara de OSIRIS. Se incluye la lista de componentes mecánicos y ópticos, así como las herramientas necesarias para lograr el ensamble adecuado en cada Subsección.

5.5.1 Preparación



Previo al ensamble es necesario seguir las siguientes advertencias y precauciones:





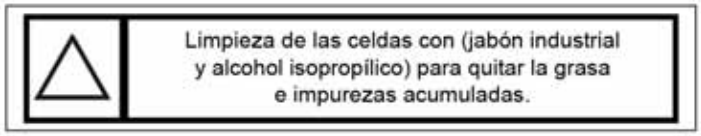
5.5.2 Tornillos de tracción

Tanto los tornillos de tracción como la celda en que se colocan están referenciados para cada lente. Este procedimiento es similar para el ensamble de todas las celdas. Aquí se ejemplifica con el caso de D1.

Lente	Celda-NP	Tornillos-NH
D1	IN-OS-CA-111-1003	IN-OS-CA-301-1001 IN-OS-CA-301-1002
D2	IN-OS-CA-112-1003	IN-OS-CA-301-1003
S1	IN-OS-CA-112-2003	IN-OS-CA-301-1004
D3	IN-OS-CA-112-3007	IN-OS-CA-301-1005 IN-OS-CA-301-1006
S2	IN-OS-CA-112-3002	IN-OS-CA-301-1007 IN-OS-CA-301-1008 IN-OS-CA-301-1009

Cada tornillo de tracción debe ser colocado en la posición que se muestra siguiendo la relación de la Tabla anterior. El apriete de debe ser paulatino y distribuido con máximo un giro de la herramienta por tornillo.

Su ubicación es en los barrenos con caja que tiene cada celda y su distribución es cada 120º. El número de tornillos de tracción varía según la celda, depende del ancho del SR.



El tornillo debe ser atornillado en el soporte radial del lente respectivo. El torque aplicado debe ser el mínimo necesario para evitar que el tornillo tenga movimiento o se afloje.

Una vez colocados se debe proceder al atornillado de la tuerca de tracción contra la celda respectiva. Para esto debe usar la herramienta **IN-OS-CA-301-1016**.

La finalidad de estos tornillos es únicamente para que la tolerancia de ajuste, entre el soporte radial y el lente, sea mayor y se logre un ensamble sin interferencias.

En esta Figura se muestra la distancia entre el SR y su respectiva celda antes de accionar las tuercas de los tornillos de tracción (vista superior).

Después de accionar las tuercas de los tornillos de tracción (vista superior). Aquí se muestra la deformación máxima, la cual no es recomendable alcanzar. De lo contrario puede provocar que las cuerdas se barran y dejen de funcionar adecuadamente.

Este procedimiento se deberá realizar para cada ensamble optomecánico de cada lente (singlete y doblete). Y no deberán realizarse simultáneamente el ensamble o desensamble de más de una celda.

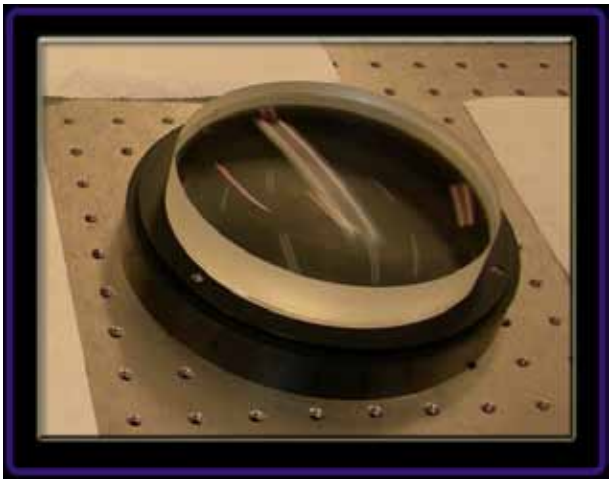
Los soportes radiales no deben ser desensamblados de la celda correspondiente por ninguna razón. Para mayor información contactar al Instituto de Astronomía de la UNAM (Mantenimiento Nivel 3).

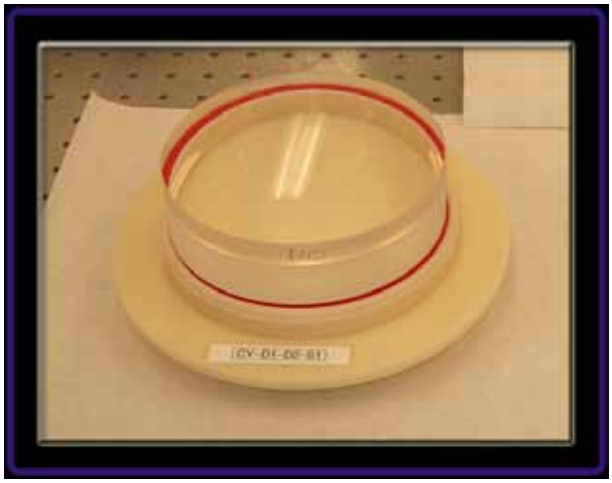
5.6 Posicionado del lente en las herramientas auxiliares

Para manipular los lentes de la cámara es necesario el uso de herramientas específicas, la relación de las mismas se muestra en la siguiente Tabla. Este procedimiento es similar para el ensamble de todas las celdas. Aquí se ejemplifica el caso del lente D1.

Lente	NH	O-ring	Contenedor
D1	IN-OS-CA-301-1021 IN-OS-CA-301-1024	IN-OS-CA-301-1048	IN-OS-CA-301-1030
D2	IN-OS-CA-301-1021 IN-OS-CA-301-1025	IN-OS-CA-301-1049	IN-OS-CA-301-1031
S1	IN-OS-CA-301-1021 IN-OS-CA-301-1027	IN-OS-CA-301-1051	IN-OS-CA-301-1033
D3	IN-OS-CA-301-1022 IN-OS-CA-301-1026	IN-OS-CA-301-1050	IN-OS-CA-301-1032
S2	IN-OS-CA-301-1023	IN-OS-CA-301-1052	IN-OS-CA-301-1034

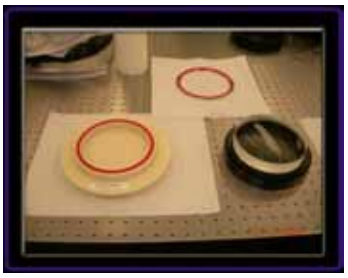
Se debe abrir el contenedor del lente respectivo. Este procedimiento se debe hacer en un área limpia y sin riesgos de que caiga algún objeto sobre los lentes.



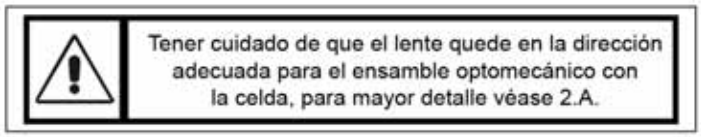


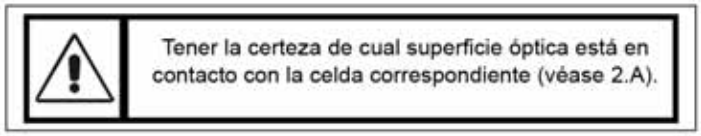
La herramienta auxiliar debe tener su O-Ring correspondiente colocado como se muestra en la Figura. Algunas de las herramientas sirven para más de un lente.

Este procedimiento es manual y debe ser realizado con extrema precaución. Colocar los elementos como se muestra en la Figura.

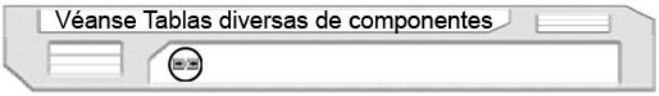


Posteriormente, se debe acomodar el lente sobre la herramienta, cuidando que el O-Ring este en contacto homogéneo con éste y sobre la apertura clara (véase A.1).





5.7 Ensamble del lente en su celda



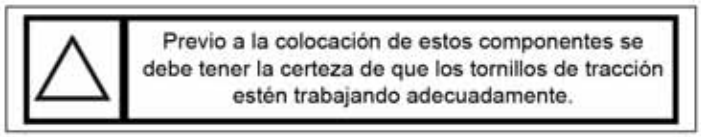
El siguiente procedimiento de ensamble es manual. Debe realizarse en un área limpia y libre de objetos que puedan caer sobre la óptica.

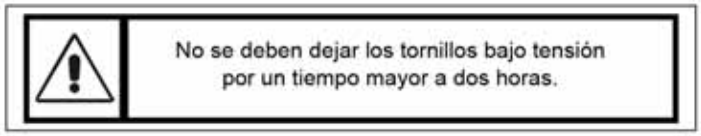
5.7.1 Posicionado de la celda en las herramientas auxiliares

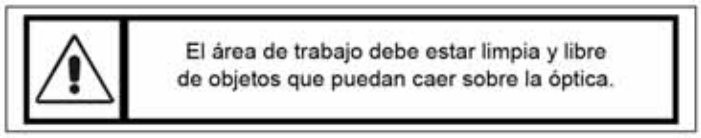
En este manual se ejemplifica el caso específico de D1 y sus componentes. El resto de los lentes se ensamblan de manera similar con sus respectivos componentes, véase la siguiente Tabla de componentes a ensamblar.

Lente	Celda-NP	NH
D1	IN-OS-CA-111-1003	IN-OS-CA-301-1024
D2	IN-OS-CA-112-1003	IN-OS-CA-301-1025
S1	IN-OS-CA-112-2003	IN-OS-CA-301-1027
D3	IN-OS-CA-112-3007	IN-OS-CA-301-1026
S2	IN-OS-CA-112-3002	NA

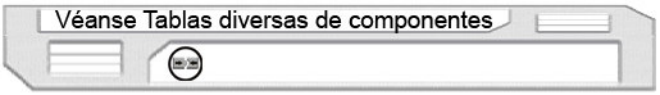
Colocar la celda respectiva como se muestra en la Figura. La herramienta tiene el objetivo de proteger la óptica al voltear el sistema.







5.7.2 Ensamble del lente y su celda

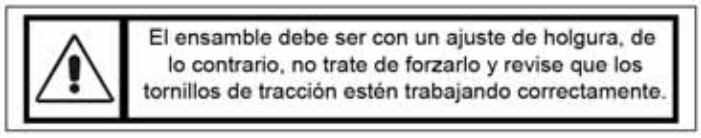


Es necesario tener preparados los lentes y sus celdas respectivas tal y como se indica en los incisos previos de este manual.

La celda respectiva debe acoplarse como se muestra en la Figura continua. El procesode ensamble es de arriba hacia abajo con su lente.

El resultado esperado de este procedimiento es el que se muestra aquí. Los tronillos de tracción aún no han sido liberados.

El paso final del ensamble del lente dentro de su celda es manual y debe realizarse con extrema precaución. Consiste en voltear la celda con la óptica dentro con ayuda de las dos herramientas auxiliares.



La fuerza ejercida con las manos para este proceso no debe ser mayor a 5 kg. El resultado final se muestra en la siguiente Figura.

5.7.3 Ajuste del lente en su celda al retirar los tornillos de tracción

En esta sección se explica el ensamble de la celda de D1 con sus separadores y O-Ring correspondiente. La metodología es similar para las demás celdas. La relación de los componentes se muestra a continuación.

Lente	Celda-NP	Separador-NP	Separador Roscado-NP
D1	IN-OS-CA-111-1003	IN-OS-CA-111-1005	IN-OS-CA-111-1006
D2	IN-OS-CA-112-1003	IN-OS-CA-112-1005	IN-OS-CA-112-1006
S1	IN-OS-CA-112-2091	IN-OS-CA-112-2004	IN-OS-CA-112-2005
D3	IN-OS-CA-112-3007	IN-OS-CA-112-3009	IN-OS-CA-112-3010
S2	IN-OS-CA-112-3002	NA	IN-OS-CA-112-3004

Tener la certeza de cual superficie óptica está en contacto con la celda correspondiente (véase 2.A).

Aflojar los tornillos de tracción con la herramienta especial **IN-OS-CA-301-1016.** Para mayor detalle del funcionamiento de los tornillos de tracción véase A3.

El proceso debe ser paulatino y homogéneo entre todos los tornillos de tracción. Se podrá notar como los soportes radiales empiezan a acercarse al lente y finalmente como lo posicionan al centro de su celda.

Girar el desarmador máximo media vuelta por vez y por tornillo.

Retirar los tornillos de tracción y guardarlos en sus respectivas bolsas.

5.7.4 Ensamble de la celda, separadores y O-Ring

Véase Tabla de componentes

El separador debe tener su respectivo O-Ring en la posición que se muestra. Ambos elementos deben haber sido limpiados previamente.

El O-Ring debe estar en el separador correspondiente y se debe tener cuidado de que al voltearlo no se caiga.

El ensamble del separador con su O-Ring es manual. La maniobra debe realizarse con extremo cuidado de NO TOCAR la superficie óptica útil del lente.

La posición del separador es visual y debe ser centrada con respecto a la celda.

No tocar bajo ninguna circunstancia la superficie óptica útil del lente.

Colocar el separador roscado en la posición que se muestra. Buscar con extrema precaución la posición donde las roscas del separador y la celda comienzan a acoplarse. Con ayuda de la herramienta **IN-OS-CA-301-1015 g**irar el separador el número de vueltas necesario para que el sistema entre en contacto. Posteriormente, y de manera visual, girar 12º más el separador.

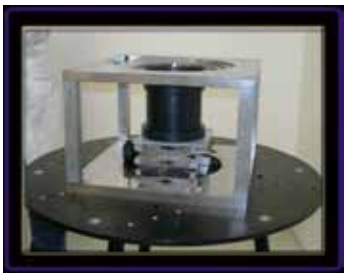
Este valor garantiza el ajuste final entre ellos. La alineación optomecánica de D1 con respecto a su celda ha sido verificada en las instalaciones del IA. Para mayor información al respecto véase A2.

5.8 Ensamble optomecánico de la celda de D1 en el Barril 1

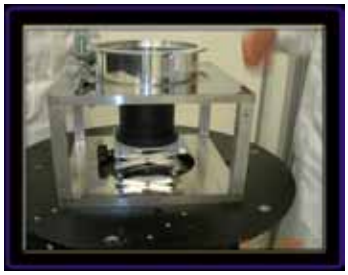
Véanse Tablas diversas de componentes

En esta sección se describe el procedimiento de ensamble de la celda de D1 con el resto del Barril 1. Los componentes a utilizar están descritos en el Apéndice D.

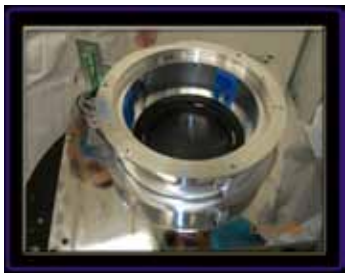
Colocar las herramientas especiales IN-OS-CA-301-1043, IN-OS-CA-301-1038 y IN-OS-CA-301-1037 en la posición que se muestra en la Figura. El área donde se va a realizar esta tarea de ensamble debe ser cómoda y a una altura adecuada.



Sobre la superficie superior de la montura se debe colocar el componente **IN-OS-CA-111-1008**.

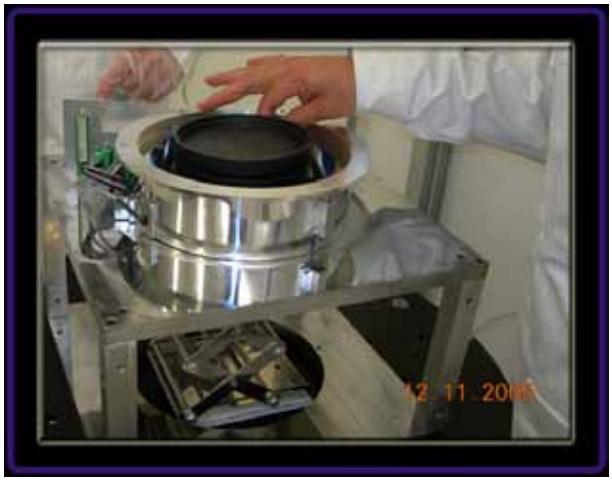


Este componente debe estar acoplado por completo con todos los componentes que tiene interfaz a excepción de los componentes **IN-OS-CA-113-0004, IN-OS-CA-113-0104 y IN-OS-CA-113-0105,** así como con la celda de D1.



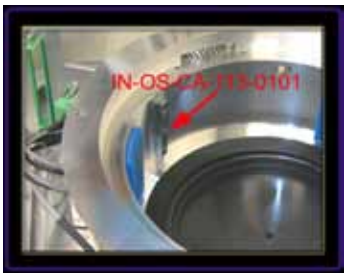
Verificar que la orientación del componente IN-OS-CA-111-1008 sea la adecuada para evitar choques entre las piezas.

Con ayuda del elevador posicionar a **IN-OS-CA-301-1037** como se muestra en la Figura continua. Es necesario que el sistema esté centrado lo mejor posible para evitar choques.



Verificar que el componente IN-OS-CA-301-1037 está colocado en la posición vertical que se muestra en las Figuras de esta sección.

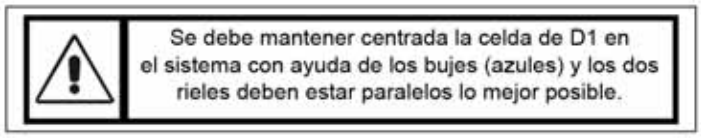
La guía lineal **IN-OS-CA-113-0102** siempre debe tener su respectivo riel para evitar que los balines salgan de su lugar (véase R3). Mientras la celda de D1 está desacoplada del Barril 1 debe utilizar la herramienta especial **IN-OS-CA-301-1054**. La cual cuenta con una tira plástica que ayuda al centrado y transferencia de la guía de la herramienta **(IN-OS-CA-301-1054)** al componente **IN-OS-CA-113-0101**.



Colocar la celda de D1 como se muestra en la Figura sobre la superficie recta del componente **IN-OS-CA-301-1037**.

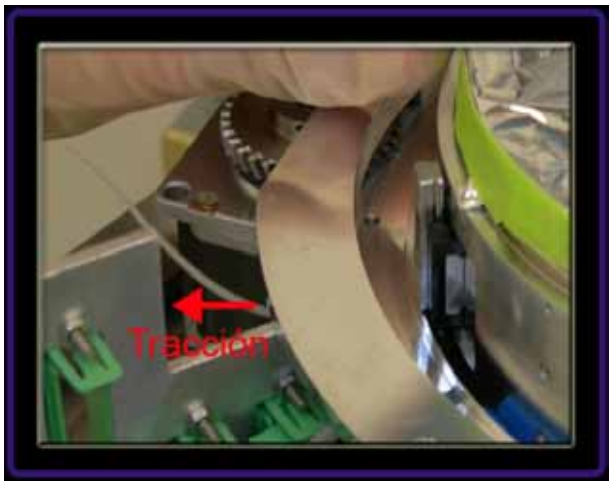
Verificar que el contacto sea homogéneo y centrado entre la celda de D1 y el canto.

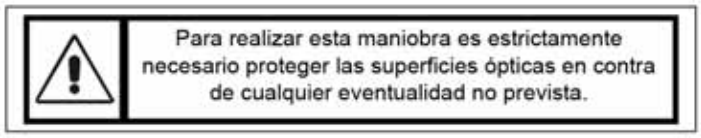
El extremo libre de la tira de plástico debe ser pasado a través del barreno superior de la placa de conectores. Esta tira de plástico nos permite ejercer una tensión mínima para ayudar al centrado de los rieles de la guía y evitar que los balines salgan de posición.



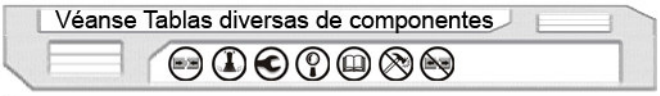
Verificar visualmente el centrado de la celda de D1 con respecto a los bujes de **IN-OS-CA-111-1009**, el paralelismo de ambos rieles y que el apoyo de las superficies sea el mejor posible.

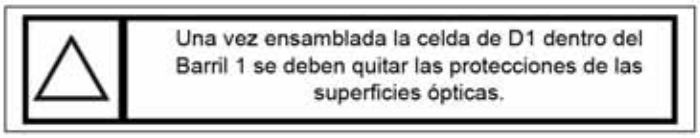
Para insertar la celda en el sistema debe bajar el elevador **IN-OS-CA-301-1038** procurando mantener una tensión adecuada para que la transferencia de la guía a través de los rieles sea suave y que no se salgan los balines de la misma.





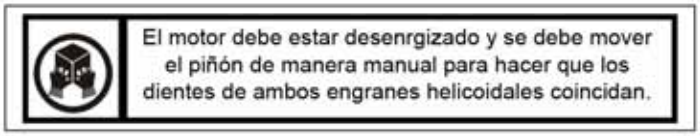
5.8.1 Colocación del engrane y rodamiento de la Unidad de Enfoque





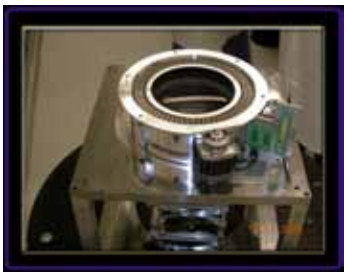
Colocar el engrane en la posición que se muestra y enroscarlo en **IN-OS-CA-111-1006**. Por facilidad, esta acción debe hacerse sin haber bajado por completo la celda de D1 con el elevador.

Una vez que se enrosco el engrane a la mitad de su carrera se puede proceder a bajar el elevador hasta la posición en que el engrane y el piñón se vean como en la Figura continua.



Los dientes de los engranes deben coincidir donde tienen las marcas de coincidencia, véase la Figura.

Sobre el engrane se debe colocar el rodamiento de agujas **IN-OS-CA-113-0104**. Es importante el engrasado del sistema para más información consultar R4.



A continuación se debe colocar **IN-OS-CA-113-0105** encima de **IN-OS-CA-113-0104** tratando que se encuentre lo mejor centrado posible visualmente.

El componente IN-OS-CA-113-0105 debe estar limpio y debe ser engrasado para garantizar el correcto desempeño del rodamiento sobre la pista.

Para fijar el sistema de engranes de la Unidad de Enfoque se debe hacer con el componente **IN-OS-CA-113-0006**.

El cual debe ser enroscado en **IN-OS-CA-111-1008** hasta lograr que la distancia entre las superficies superiores externas de **IN-OS-CA-111-1008** y **IN-OS-CA-113-0004** sea de 1.90 mm.

Para mayor detalle de la posición de los componentes ensamblados en esta sección véase R5.

5.8.2 Ensamble de los resortes de precarga

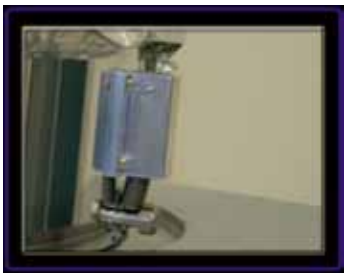
Véanse Tablas diversas de componentes

Los resortes de precarga se acoplan por medio de un tornillo y un perno. El tornillo va fijo a la celda de D1 y el perno, a través de una caja de fijación, está referenciado al componente externo **IN-OS-CA-111-1008**.

El sistema de precarga cuenta con tres tornillos distribuidos a 120º. Uno de ellos sirve de interfaz con el accionador de los interruptores de fin de carrera, su ensamble se describe en la siguiente sección.

A continuación se describe el ensamble de los dos resortes similares.

Fijar a la celda de D1 a través de la ranura del componente **IN-OS-CA-111-1008** los tornillos **IN-OS-CA-113-0001**.



Se debe utilizar cinta plástica en la cuerda de los tornillos para dar mejor fijación, así como se debe utilizar la extensión **IN-OS-CA-113-0001**.

Durante el ensamble de la Unidad de Enfoque se de deben proteger las superficies ópticas. Apoyar firmemente el sistema antes de realizar las operaciones de ensamble.

El perno sirve de apoyo para uno de los extremos del resorte (extremo cerrado). Para colocarlo es necesario elongar el resorte con ayuda de la herramienta **IN-OS-CA-301-1017** a través del barreno. Cuando se logre la posición adecuada se debe empujar el perno a través de todo el barreno pasado de **IN-OS-CA-113-0003**.

Los extremos de los resortes de precarga deben ser colocados en la posición que se indica. El perno debe ser insertado a trvés del resorte.

5.8.3 Ensamble del resorte de precarga (interruptor de fin de carrera)

Véanse Tablas diversas de componentes

El tornillo **IN-OS-CA-113-0001** debe fijarse como los tornillos del caso anterior, con la diferencia de que previo a su colocación debe insertarse los componentes **IN-OS-CA-113-0013 (pieza A y G)** en su posición. El resorte **IN-OS-CA-113-0002** (pieza única) debe colocarse en este mismo paso de ensamble.

Previo al ensamble de esta sección se recomienda que todos los componentes electromecánicos estén ensamblados, y que su funsionamiento sea verificado.

La montura de fijación para el perno de este resorte es el componente **IN-OS-CA-113-0003b**. Para fijar el resorte y el perno siga las instrucciones de los resortes anteriores (sección 8.2).

5.9 Ensamble de la Unidad de Enfoque en el Barril 1

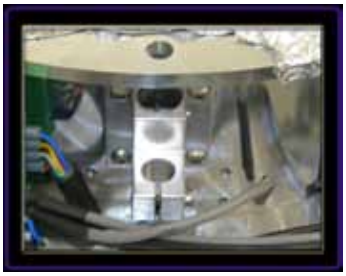
Véanse Tablas diversas de componentes

La Unidad de Enfoque está compuesta por todos los componentes que se muestran en el Apéndice F. En esta sección se describe el ensamble de los mismos en el Barril 1. Las interfaces con la celda de D1 son los componentes **IN-OS-CA-111-1008** y **IN-OS-CA-111-1009**.

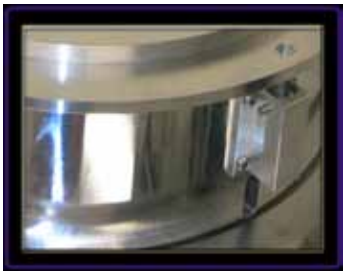
5.9.1 Ensamble de la montura de fijación de los resortes

Véanse Tablas diversas de componentes

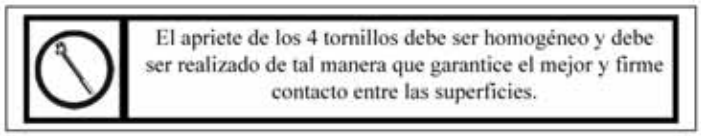
El sistema cuenta con tres monturas de fijación de los resortes. Dos de ellas son similares, la tercera sirve también de interfaz con el palpador **IN-OS-CA-113-0106** (Figura anexa).



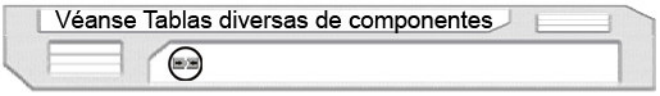
Cada una de ellas se debe fijar en la posición mostrada con cuatro tornillos de sujeción (tipo SW3 dPub BUTTON HEAD CAP SCREW 3-56 UNF-29997).



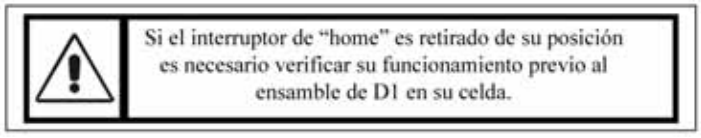
El barreno para el perno debe estar lo más cerca posible a la costilla de interfaz con la celda de D2.



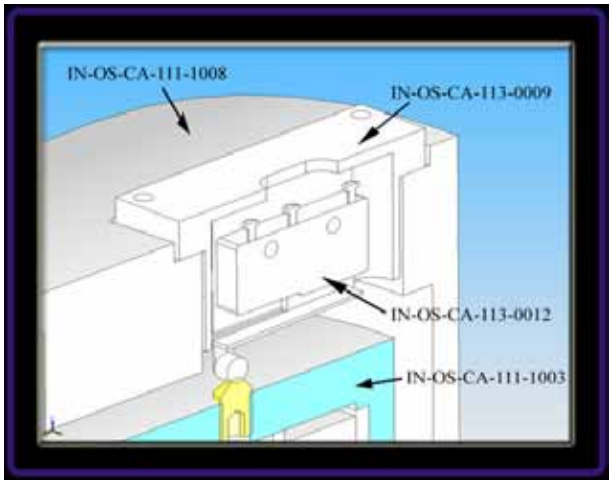
5.9.2 Ensamble del interruptor de "home"

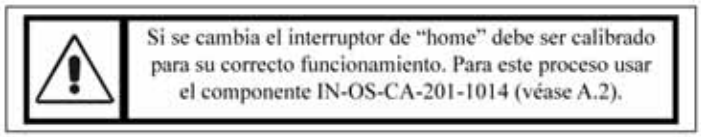


Este interruptor es una referencia electromecánica de la Unidad de Enfoque. Funciona a través del interruptor **IN-OS-CA-113-0009** y de un prisionero ubicado en la celda de D1.

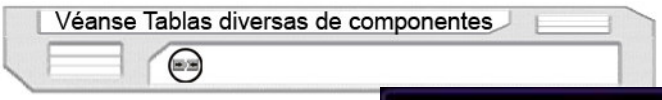


El componente **IN-OS-CA-113-0009** es la interfaz entre el interruptor y **IN-OS-CA-111-1008**. La unión entre los componentes es con ayuda de tornillos **ISO 4762 M2X0.4**. El interruptor es colocado con ayuda de tornillos **ISO 4762 M2X0.4** al componente **IN-OS-CA-113-0009.**

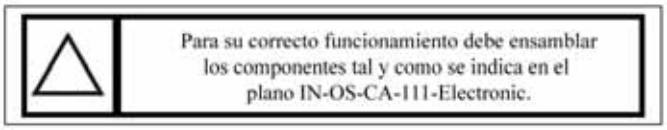




5.9.3 Ensamble de los interruptores de fin de carrera



Los interruptores de fin de carrera son un subsistema mecatrónico de la cámara. Está compuesto por los componentes que se muestran en el plano **IN-OS-CA-111-Electronico**.



Antes de ensamblar el componente **IN-OS-CA-113-0010** con **IN-OS-CA-111-1008**. Es necesario haber ensamblado el sistema de los tornillos de tracción (véase sección 8.3).

Atornillar el componente **IN-OS-CA-113-0010** a **IN-OS-CA-111-1008** con ayuda de 4 tornillos (tipo SW3 dPub BUTTON HEAD CAP SCREW 3-56 UNF-29997).

El sistema de los interruptores de fin de carrera fue calibrado en las instalaciones del IA con el fin de cumplir las especificaciones (REF. A.1). De ser necesario cualquier ajuste de los mismos véase A.2, o bien aplique un Nivel 3 de mantenimiento.

El sistema mecatrónico debe ser manipulado durante el ensamble con extremo cuidado. Evitar el impacto entre los componentes del sistema.

5.9.4 Ensamble del Codificador en la UE

Véanse Tablas diversas de componentes

El codificador de la UE es el número de parte **IN-OS-CA-113-0106** (que se muestra en la Figura). Para instalarlo en el BC es necesario hacerlo previo al ensamble del Barril 2 con el Barril 1.

Este componente debe ser ensamblado en la pieza **IN-OS-CA-113-0003b** por medio del componente **IN-OS-CA-113-0008**.

Antes de realizar el ensamble del codificador en los componentes correspondientes verificar que el tornillo de ajuste de IN-OS-CA-113-0003b esté sin apretar.

La posición del codificador está definida por el tope **IN-OS-CA-113-0008**. Sin embargo, para evitar interferencia entre componentes antes de ensamblar el Barril 1 con el 2 verificar cuidadosamente las posiciones de las siguientes figuras.

Posibilidad de interferencia entre el codificador y el alojamiento del Shutter.

LIMPIEZA
Limpiar antes de ensamblar las superficies de contacto del codificador y IN-OS-CA-113-0011.

MEDICIÓN
Es necesario realizar lecturas de las señales del codificador antes de ensamblar el Barril completo.

5.10Ensamble optomecánico del Barril 2 con el barril 1

Véanse Tablas diversas de componentes

Para garantizar el correcto ensamble del Barril 2 con respecto al Barril 1 se recomienda ensamblar a B2 sobre B1 como se muestra en las Figuras siguientes. Para ello se deben realizar las siguientes etapas de ensamble:

1ª Ensamble de la Celda de D2 con el Barril 1.
2ª Ensamble de la interfaz del Shutter con la Celda de D2.
3ª Ensamble de la Celda de D3 con la de S2.
4ª Ensamble de la Celda de S2 con la de S1.
5ª Ensamble de la Celda de S1 con la interfaz del Shutter.

Este procedimiento garantiza el correcto ensamble del Barril 2, así como la alineación adecuada de los ejes ópticos de cada sistema óptico.

5.10.1 Ensamble de la Celda de D2 con el B1

Véanse Tablas diversas de componentes

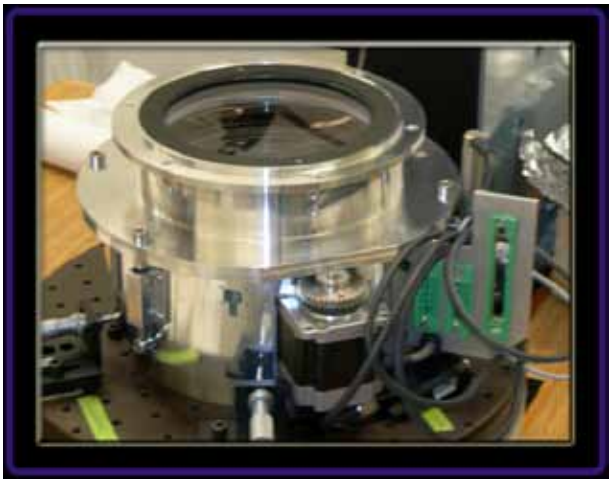
Colocar el Barril 1 como se muestra en la Figura continua. Es necesario que la UE esté completamente ensamblada y funcionando correctamente.

Posteriormente se debe poner con extremo cuidado (evitando cualquier tipo de golpes) la Celda de D2 tal y como se muestra. La sección plana de ambas celdas debe coincidir.
Las celdas deben estar centradas una respecto a la otra. Para lograr esta condición geométrica se debe utilizar la herramienta **IN-OS-CA-301-1029** tal y como se muestra en la Figura.

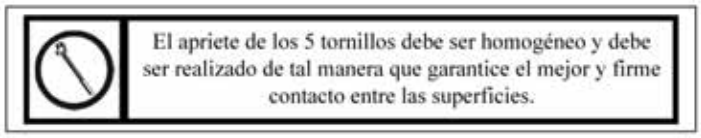
La precisión en el maquinado mecánico del área exterior de las celdas garantiza que su ensamble sea concéntrico.

Todos los componentes electrónicos deben estar desconectados. No golpear los componentes al manipular.

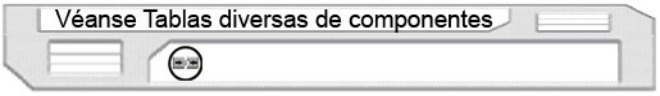
Los lentes deben estar en su respectiva celda previamente a realizar este ensamble.



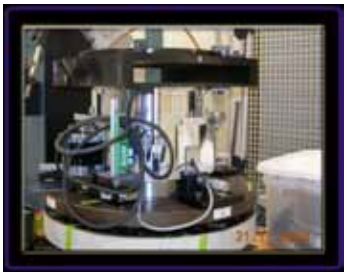
Colocar los 5 tornillos con tuerca en los 5 barrenos comunes a ambas celdas. Llevar las tuercas hasta el primer contacto con las celdas (no ejercer apriete). En este momento se debe verificar la concentricidad de las celdas con ayuda de **IN-OS-CA-301-1029.**



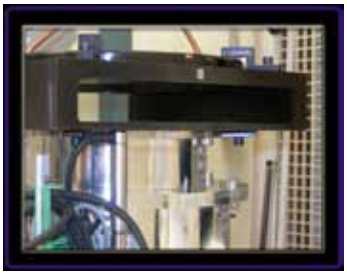
5.10.2 Ensamble de la interfaz del Shutter con la Celda de D2



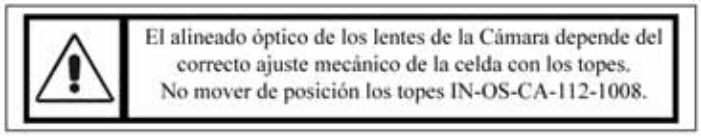
Colocar la interfaz del Shutter sobre la Celda de D2 como se muestra en la Figura continua.

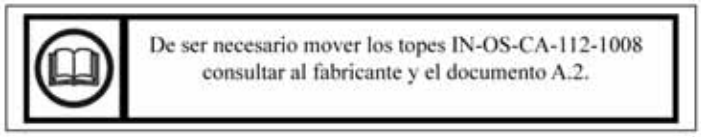


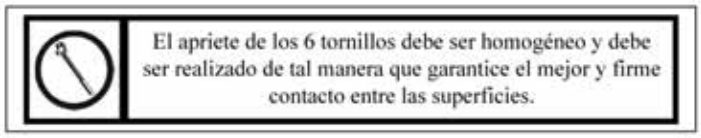
La orientación de **IN-OS-CA-112-2001** debe ser como se muestra. Poner los 6 tornillos de fijación de la celda (**ISO 4762 M6X1x10**), atornillarlos hasta antes de que hagan contacto.



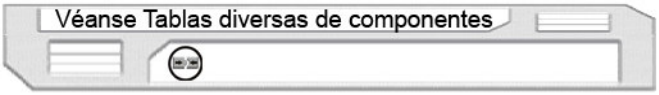
Los topes **IN-OS-CA-112-1008** definen la posición de la Celda de D2 con respecto a **IN-OS-CA-112-2001**. Para apretar los tornillos la celda deberá estar en contacto homogéneo con los topes.



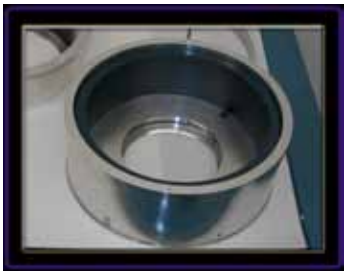




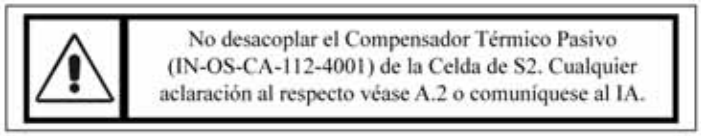
5.10.3 Ensamble de la Celda de D3 con la de S2



El ensamble de la Celda de S2 con la Celda de D3 se logra a través del componente **IN-OS-CA-112-4001** el cual se llama Compensador Térmico Pasivo.



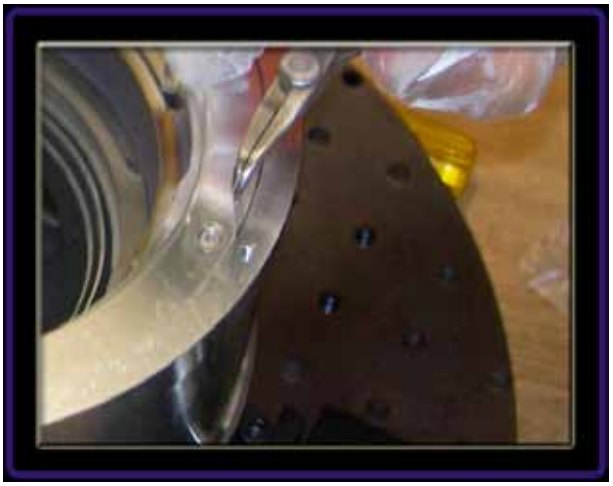
El ensamble entre el compensador y la Celda de S2 viene calibrado y centrado desde el IA.



Previo al ensamble de estas dos celdas la óptica de ambas debe ser ensamblada en su respectiva celda siguiendo las instrucciones descritas en la Sección 5 de este manual.

Colocar como se muestra en la Figura continua la Celda de D3 sobre la Celda de S2, por medio del compensador. Con ayuda de lainas calibradas o de un Calibrador Vernier se debe realizar el centrado entre ellas.

Los tornillos de fijación (ISO 7051 OV-H TAP-F 2~2 x 0~8 16 SIMP-UPD) deberán ser apretados hasta lograr el correcto centrado.

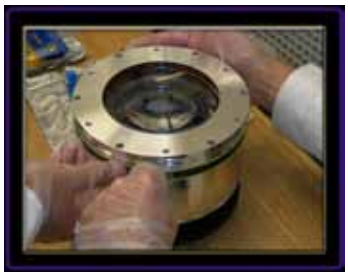


El apriete de los 6 tornillos debe ser homogéneo y debe ser realizado de tal manera que garantice el mejor y firme contacto entre las superficies.

5.10.4 Ensamble de la Celda de S2 con la de S1

Véanse Tablas diversas de componentes

Las celdas deben estar centradas una respecto a la otra. Para lograr esta condición geométrica se debe utilizar la herramienta **IN-OS-CA-301-1029** tal y como se muestra en la Figura.



Los tornillos deben ser colocados y apretados con la herramienta **IN-OS-CA-301-1029** en operación a una tensión constante de la cinta herramienta.

El apriete de los 6 tornillos debe ser homogéneo y debe ser realizado de tal manera que garantice el mejor y firme contacto entre las superficies.

5.10.5 Ensamble de la Celda de S1 con la interfaz del Shutter

Véanse Tablas diversas de componentes

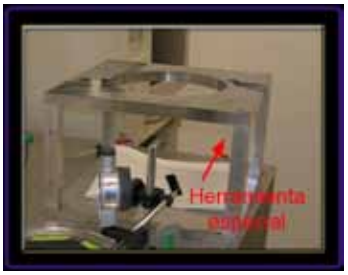
El ensamble de la Celda de S1 con la interfaz del Shutter es similar al descrito en la Sección 10.2. La principal diferencia entre ellos radica en que los topes mecánicos () que definen la posición de la Celda de S1 deben ser retirados antes de ensamblar la Cámara con el instrumento OSIRIS, y colocados antes de retirar la Celda de S1 en la interfaz. Estos topes garantizan la concentricidad de la celda con el resto de la Cámara.

5.11 Ensamble de la UE en la montura de pruebas

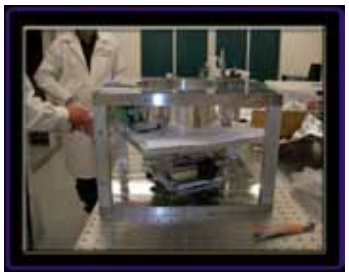
Véanse Tablas diversas de componentes

En esta sección se describe el procedimiento de ensamble de la celda de D1 con el resto del Barril 1. Los componentes a utilizar están descritos en el Apéndice F.

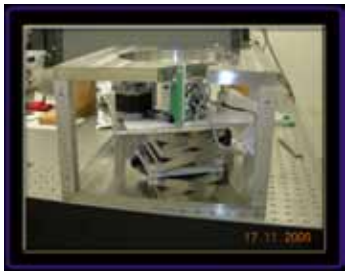
Colocar la herramienta especial **IN-OS-CA-301-1043** en la posición que se muestra en la Figura. El área donde se va a realizar esta tarea de ensamble debe ser cómoda y a una altura adecuada.



Con ayuda de la herramienta **IN-OS-CA-301-1038** colocar **IN-OS-CA-111-1008** en la posición que se muestra.



Previo al ensamble de la unidad de enfoque los componentes del Barril 1 deben estar ensamblados a excepción de los que se muestran en la siguiente Tabla.



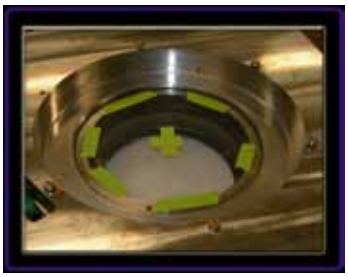
IN-OS-CA-113-0004
IN-OS-CA-113-0104
IN-OS-CA-113-0105

Para mayor detalle del cómo ensamblar el resto de los componentes véanse las secciones 8 y 9.

Se recomienda utilizar una placa de interfaz entre IN-OS-CA-301-1038 y IN-OS-CA-111-1008 para lograr un apoyo más homogéneo.

Se debe cuidar la orientación de los componentes al subirlos con el elevador para que la placa de los conectores no choque con la montura.

Fijar con ayuda de los 5 tornillos **IN-OS-CA-301-1010** la pieza **IN-OS-CA-111-1008.**



Las tuercas deben atornillarse de manera homogénea y de forma tal que garanticen el que el contacto de las superficies es paralelo.

No apretar las tuercas a más de 10 Nm. Esto puede provocar que la superficie de aluminio quede permanentemente deformada.

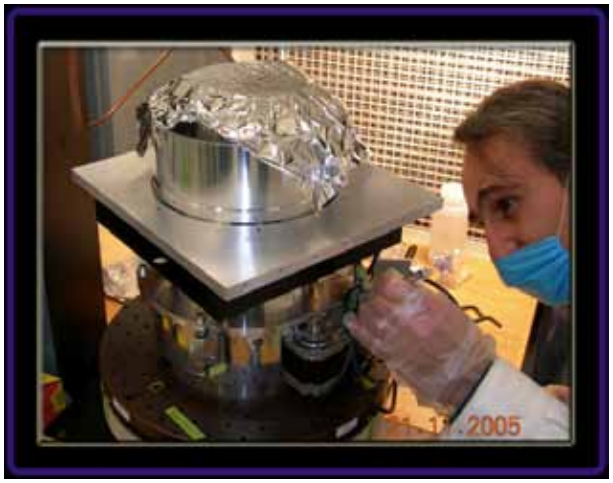
Se recomienda colocarlas y apretarlas en tal orden que la siguiente tuerca sea la más alejada de la última.

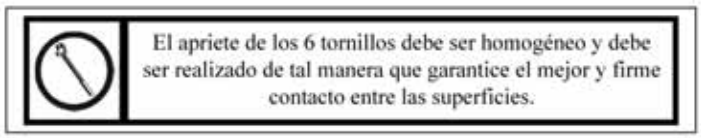
Una vez en posición y rígidamente ensamblado el sistema anterior se procede al ensamble de la celda de D1.

5.12 Transporte de la cámara

Para transportar la cámara es necesario realizar el ensamblaje de la misma en su montura de transporte. A continuación se muestran las imágenes del proceso de ensamble en el orden y posición requeridas para lograr su correcto acoplamiento.

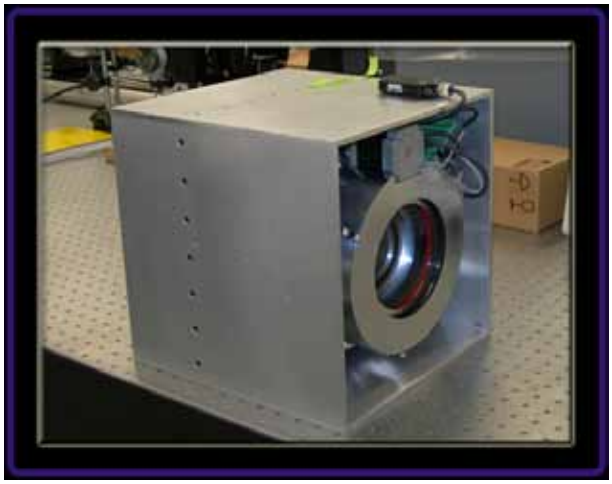
Paso 1: Colocar la placa **IN-OS-CA-201-1001** en la posición mostrada, la cámara debe estar apoyada en una superficie plana, preferentemente un mármol. Apretar los tornillos a través de la interfaz con el Shutter.

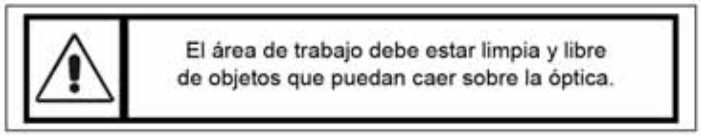




Paso 2: Las placas **IN-OS-CA-201-1002, IN-OS-CA-201-1002b, IN-OS-CA-201-1003 y IN-OS-CA-201-1003b** deben ser acopladas tal y como se muestra en la figura siguiente.

Paso 3: En un área limpia poner la cámara en la posición mostrada y colocar las tapas de protección **IN-OS-CA-201-1004** de la montura.

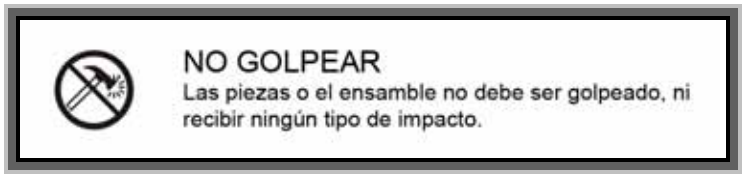




5.13 Precauciones de almacenaje

Cada vez que la cámara sea transportada deberá realizarse una inspección visual.

No someter el sistema ensamblado a temperaturas fuera del intervalo -15°C a 35°C y presiones diferentes a 1 ± 0.3 atmósfera. Evitar choques térmicos y de presiones.



5.14 Información Básica de la Cámara

A continuación se detallan las propiedades físicas del barril de la Cámara OSIRIS. Los cálculos son aproximados y fueron realizados por medio del modelo tridimensional. Estos valores incluyen todos los componentes mecánicos, electrónicos y ópticos que conforman la cámara.

Propiedades físicas del Barril de la Cámara OSIRIS
Sistema de coordenadas local

Centro de masa y momentos de inercia:

Masa = 27.92885926 kg

Volumen = 0.00775000 m^3

Centro de masa: (m)
X = -0.04705761
Y = -0.00073561
Z = 0.00451533

Ejes y momentos principales de inercia: (kg m^2)

Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.97278687, 0.02589558, -0.23025011)
Iy = (-0.23138991, 0.05703621, -0.97118772)
Iz = (-0.01201688, 0.99803622, 0.06147605)
Px = 0.22124128
Py = 0.27485832
Pz = 0.29813853

Momentos de inercia: (kg m^2)
(Medido desde el centro de masa)
Lxx = 0.22412311, Lxy = 0.00162987, Lxz = -0.01199218
Lyx = 0.00162987, Lyy = 0.29801123, Lyz = -0.00174805
Lzx = -0.01199218, Lzy = -0.00174805, Lzz = 0.27210379

Momentos de inercia: (kg m^2)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
Ixx = 0.22470765, Ixy = 0.00259665, Ixz = -0.01792651
Iyx = 0.00259665, Iyy = 0.36042683, Iyz = -0.00184082
Izx = -0.01792651, Izy = -0.00184082, Izz = 0.33396508

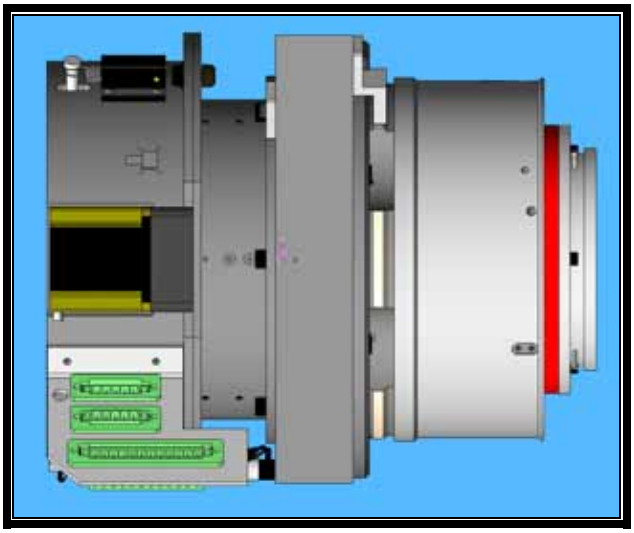


Imagen que muestra la posición de las coordenadas del centro de masa de la cámara.

6. CRITERIOS Y PROPUESTAS OPTOMECÁNICOS

LA OPTOMECÁNICA es un área del conocimiento que requiere ser desarrollada. Las técnicas científicas contemporáneas permiten un avance más vertiginoso del conocimiento cada día mayor. El desarrollo del proyecto de la *Cámara* del instrumento científico *OSIRIS* ha permitido entender la problemática en la optomecánica actual e impulsa a este texto final. A continuación se hacen una serie de recomendaciones, guías de diseño optomecánico y propuestas de líneas de investigación:

Recomendaciones y Guías de Diseño

- *"No existe el diseño óptimo"*, antes de comenzar con la conceptualización de configuraciones optomecánicas es necesario condensar y entender las especificaciones y requerimientos de los sistemas. Así mismo, generar su respectivo presupuesto de errores. En función de estos valores, se recomienda hacer una búsqueda de todos aquellos conceptos existentes que puedan satisfacer y garantizar el correcto funcionamiento optomecánico.

- La generación de nuevas configuraciones, tanto de soportes, compensadores o posicionadores debe basarse en principios de diseño simples, tales como: fácil manufactura, mínimo de componentes posible, comprometer peso y rigidez así como de alcanzar los procesos de fabricación, integración y pruebas que garanticen su funcionamiento y costo económico.

- Nunca dejar a un lado la fragilidad de los componentes ópticos y sus recubrimientos. Pensando durante todo el proceso de diseño (especialmente) en su manejabilidad.

- La histéresis es un mal necesario, que debe ser contemplado e incluido en el presupuesto de errores de sistemas astronómicos de precisión. Evitar el uso de materiales con histéresis mayor a la deseada.

- Si no puedes contra ellos, úneteles. Las tolerancias de fabricación (dimensionales y geométricas) pueden hacer que un sistema sea imposible de realizar. Se debe mantener la idea de que mientras más holgadas las tolerancias que garanticen el funcionamiento de un sistema mejor el diseño es.

- Los desplazamientos y rotaciones de las lentes son el primer cálculo a realizar. Se deben contemplar las deformaciones generadas por la acción de la gravedad, los cambios de temperatura (expansiones y contracciones) y por las fuerzas externas.

- Los esfuerzos deben ser analizados desde dos perspectivas; ruptura y birrefringencia. Aunque éstos son de un orden secundario de importancia respecto a los desplazamientos y rotaciones de las lentes, los esfuerzos son más difíciles de cuantificar y de analizar.

- Seguir las reglas experimentales es un buen comienzo, sin embargo se recomienda seguir las ecuaciones empíricas y analíticas existentes en etapas críticas de diseño.

Líneas de Investigación

- El diseño optomecánico requiere del desarrollo estandarizado de formatos *CAD* para trasladar los diseños ópticos a los diseños optomecánicos. Es necesario generar un formato que permita incluir la información óptica, el camino de la luz y la energía encerrada, y que a la vez permita incluir las dimensiones y formas geométricas de los componentes mecánicos y sus propiedades físicas. De esta manera se puede lograr conjuntar el análisis óptico y mecánico para cuantificar la variación de la calidad y movimiento de imágenes en los detectores y garantizando de manera más eficiente, exacta y precisa los valores obtenidos. El análisis óptico (óptica física y geométrica) con la mecánica elástica (elementos finitos) estarían vinculados. En este sentido, es necesario generar nuevos modelos matemáticos que describan el fenómeno físico de la luz; incorporando en las ecuaciones diferenciales la forma geométrica de la óptica y mecánica, considerando los esfuerzos térmicos, que permitan la variación de los diferentes índices ópticos con la curva de temperaturas y que permitan visualizar el efecto general en los detectores.

- Los esfuerzos birrefringentes pueden tener aplicaciones directas en diversos sistemas ópticos. Si se logran entender y controlar pueden ser utilizados para sistemas adaptativos de proyección de imágenes en cristales delgados y translúcidos. Actualmente no existen modelos analíticos ni criterios de falla adecuados para describir su comportamiento a lo largo de una estructura cristalina. Una línea de investigación que se propone es: a partir de los modelos matemáticos anteriormente descritos y por medio de experimentación y exFErimentación comprender la forma en que se relaciona el movimiento de la luz a través de estructuras atómicas sometidas a esfuerzos.

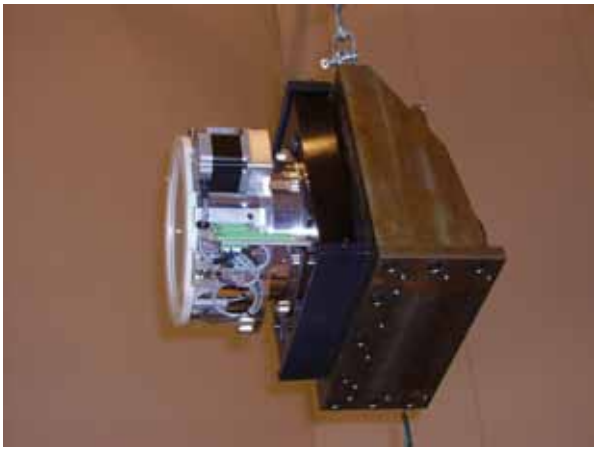


Figura 6.1. *Cámara durante su proceso de montaje en el instrumento astronómico OSIRIS.*

El *IA-UNAM* ha participado en el diseño y fabricación de instrumentos para telescopios de vanguardia. El desarrollo del diseño del Barril se realizó con apego a normatividad internacional y a estándares de calidad que han permitido desarrollar el proyecto más eficientemente. Todas y cada una de las especificaciones establecidas fueron verificadas y satisfechas. El instrumento astronómico *OSIRIS* verá su primera luz a finales de 2008 (véase Figura 6.1 y 6.2).

Figura 6.2. *Instrumento astronómico OSIRIS durante pruebas previas a su integración al Gran Telescopio Canarias.*

APÉNDICE A

A continuación se muestra un resumen de las especificaciones y requerimientos del barril para la cámara OSIRIS. Se presentan en el formato original con el cual fueron solicitadas. En especial, las más importantes para esta etapa de diseño conceptual son las contenidas en los incisos del 4.2 al 4.10.

List of acronyms and abbreviations

CB	Camera Barrel
CL	Cryostat Lens
CoG	Centre of Gravity
CU	Camera Unit
CULCS	Camera Unit Local Coordinate System
DU	Detector Unit
GTC	Gran Telescopio Canarias
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
IAC	Instituto de Astrofísica de Canarias
MPMNT	Mean Preventive Maintenance Night Time
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NA	Not Applicable
OA	Optical Aperture
OPT	OSIRIS Project Team
OSIRIS	Optical System for Imaging and low/intermediate Resolution Integrated Spectroscopy
ORM	Roque de Los Muchachos Observatory (at La Palma)
OSS	OSIRIS Support Structure
PDR	Preliminary Design Review
ROC	Radius of Curvature
RT	Temperature of Reference (8.5 ^{o}C)
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined

A.1 Guides to understanding the document

Use of shall/should
"Shall" is used for requirements, whereas "should" is reserved for guidelines. Requirements are mandatory and guidelines are not mandatory, although their fulfilment should be strongly pursued.

Stable and unstable requirements
A "**TBC**" or a "**TBD**" identifies Unstable or Undefined requirements respectively.

Guidelines
The word "guidelines" appears explicitly in the paragraph title. Guidelines are always expressed in terms of "should" statements.

Drawings
The drawings shall not be considered as requirements unless it is indicated by some specification in this document. Additionally, in case of conflict the specification document shall prevail over the indications in the drawing

A.2 DEFINITIONS

Accuracy
This term refers both to the concepts of overall accuracy and incremental accuracy. If one of them is not explicitly mentioned it shall be assumed to be overall accuracy.

Axial position (in a lens or doublet)
This term refers to the axial distance between the camera local XY plane and the lens (doublet) reference vertex

Barrel #1 nominal position
The nominal position of barrel #1 with respect to the CULCS is with D1 on its nominal position

Camera Barrel nominal position
The nominal position of the Camera Barrel with respect to the interface with the Support Structure shall be as defined in A.2

Camera back focal
The back focal length is the distance along the Z axis from the second surface of the last lens to the paraxial image plane

Camera effective focal length
The effective focal length is the distance from the rear focal plane to the paraxial image plane

Doublet Real Optical Axis
This term refers to the line that joins the centres of curvature of the first optical surface of the first lens and the last optical surface of the last lens (meaning of "first" and "last" is in the optical beam direction, see Figure 2.3)

Doublet Reference Vertex
This term refers to the reference vertex of the first lens

Decenter (in a lens or doublet)
This term refers to the radial distance between the camera local Z axis and the lens (doublet) reference vertex

Field element
Any electronic or electromechanical part intended to allow the change of the state of a subsystem, or to acquire any type of data about its current state, i.e. motors, actuators, proximity sensors or temperature sensors, for example.

Lens Back Optical Surface
This term refers to the optical surface in the output light side (see the light beam direction in Figure 2.3)

Lens Front Optical Surface
This term refers to the optical surface in the input light side (see the light beam direction in Figure 2.3)

Lens Real Optical Axis
This term refers to the line that joins the centres of curvature of the two optical surfaces in a real lens

Lens Reference Vertex
This term refers to the vertex of the front optical surface. Reference vertex are indicated on each lens drawing included in Annex 1

Mean Preventive Maintenance Night-Time (MPMNT)
The MPMNT is the night-time per year that the system is not available for operation due to planned (preventive) maintenance tasks.

Mean Time Between Failures (MTBF)
The MTBF for a system is the mean time between two consecutive failures of the system.

Mean Time To Repair (MTTR)
The MTTR for a system is the mean time spent in unplanned (corrective) maintenance to repair the system.

Motion source
Any electromechanical part able to change the current position of any part of a subsystem, i.e. motors and actuators, for example.

Motion transducer
Any electronic or electromechanical part able to inform about the current state of movement of any part of a subsystem, i.e. tachometer or encoders, for example.

Optical aperture (OA)
The minimum free diameter in a lens to avoid vigneting.

Overall accuracy
The overall accuracy is a statistical measurement of the differences between the real value and the ideal one for a number of events (measurements or actuations).

Overall repeatability
The overall repeatability is a statistical measurement of the differences between a number of events (measurements or actuations) when the conditions are the same.

Positioning transducer
Any electronic or electromechanical part intended to inform about the current position of any part of a subsystem, i.e. encoder, proximity sensors.

Radius of Curvature (ROC)
This term refers to the radius of each spherical surface in a lens. There are two different radius of curvature: The radius of the front surface (Front ROC) and the radius of the back surface (Back ROC).

Repeatability
This term refers to both the concepts of overall repeatability and incremental repeatability. If one of them is not explicitly mentioned it shall be assume to be overall repeatability.

Resolution
Resolution is the smallest detectable increment in a motion or measurement in which a magnitude can vary.

Roll
Roll tolerance is the roll of a surface about the seat of another surface. A typical application is in cemented components as doublets, where one of the elements is cemented off centre relative to the other. Normally the value input is the lateral shift of the vertex of the seat surface.

Shutter nominal position
The nominal position of the shutter shall be as defined in A.3.

System failure
A system failure is any event arising in the OSIRIS which impedes all planned science observations.

Tilt (in a lens or doublet)
This term refers to the angle between the camera local Z axis and the lens (doublet) real optical axis.

A.3 SCOPE

This document specifies the mechanical requirements and optical performances that must be satisfied by the Camera Unit, excluding the mechanical specifications of the Cryostat Window Electrical and control requirements that must be satisfied by the Camera Unit are specified in A.1.

Manufacturing specifications of the camera lenses are included in R.4.

Mechanical specifications of the Cryostat Window are included in R.5.

Lenses data sheets are included in Annex 1 (this document) as reference.

A.4 REQUIREMENTS

All the requirements in the following section shall have the following code: SP/IN-OS-CA/NNN, where NNN is the index that appears immediately before the requirement title

A.4.1 General Requirements

Local Coordinate Systems

The Camera Unit Local Coordinate System (CULCS) is named (X_{ca}, Y_{ca}, Z_{ca})

The origin is in the intersection between the plane of the CB axial reference and the axis of the BC radial reference (according A.2)

X_{ca} and Y_{ca} are in the plane of the CB axial reference (according A.2)

Z_{ca} is perpendicular to the CB axial reference (according A.2)

Source: OSIRIS System Group

A.4.2 Functional requirements

Overall concept

The three singlets and three doublets of the OSIRIS camera shall be mounted within three different opto-mechanical mounts:

- Barrel #1, that encloses the doublet D1
- Barrel #2, that encloses the singlets S1 and S2 and the doublets D2 and D3
- Cryostat Lens, that works as the cryostat vacuum window and encloses the singlet S3

The Barrel #1 is moved axially with respect to the Barrel #2 by the Focus Unit

Barrel #1

To be compliant with the OSIRIS requirements, the Barrel #1 shall have the following functions:

- Support the doublet D1 with the required radial, axial and angular accuracies
- Provide the interface with the Focus Unit

Barrel #2

To be compliant with the OSIRIS requirements, the Barrel #2 shall have the following functions:

- Support the singlets S1, S2 and the doublets D2, D3 with the required radial, axial and angular accuracies
- Provide the support to Barrel #1
- Provide the interface with the OSIRIS Support Structure through the Camera Interface
- Provide free space for the shutter

Focus Unit

To be compliant with the OSIRIS requirements, the Focus Unit shall have the following functions:

- Move axially the Barrel #1 for optical focusing
- Provide the interface between the Barrel #1 and the Barrel #2
- This unit shall be motorized and remore controlled

Barrel #1 and Barrel #2 disassembling

It shall be possible to dismount the Barrel #1 from the Barrel #2 and reassemble them without further alignment

It shall be possible to dismount the focus unit from the Barrel #2 and reassemble them without further alignment

It shall be possible to dismount the lenses from the Barrel #1 and the Barrel #2 and reassemble them without further alignment

It shall be possible to dismount the Camera Barrel from the OSIRIS Support Structure and reassemble them without further alignment

Source: OSIRIS Optical and Mechanical Group.

Justification: To dismount and reassemble the camera in a minimum time for maintenance tasks, like cleaning and coating of lenses (MPMNT and MTTR).

A.4.3 Optical Performance Requirements

Wavefront deformation

A.4.3.1 Centre field wavefront deformation

The effect of the Camera Unit on the transmitted wavefront for the centre field, assuming the doublet D1 and S3 are on their nominal positions, shall be lower than 0.635 waves RMS (at λ=632.8 nm) in the nominal temperature range

Justification: The camera will be tested using an interferometer. In this way this requirement has been wrote assuming that the wavefront error will be minimized (adjusting the camera position in the interferometer) during the test. The reference wavelength is λ=632.8 nm (HeNe laser line).

A.4.3.2 Intermediate field wavefront deformation

The effect of the Camera Unit on the transmitted wavefront for a field of 5.71x5.71 degrees, assuming the doublet D1 and S3 are on their nominal positions, shall be lower than 0.826 waves RMS (at λ= 632.8 nm) in the nominal temperature range

Justification: The camera will be tested using an interferometer. In this way this requirement has been wrote assuming that the wavefront error will be minimized (adjusting the camera position in the interferometer) during the test. The reference wavelength is λ=632.8 nm (HeNe laser line). The intermediate field simulates a corner of the 5x5 arcmin OSIRIS FOV.

A.4.3.3 Unvignetted field wavefront deformation

The effect of the Camera Unit on the transmitted wavefront for a field of 8.08x8.08 degrees, assuming the doublet D1 and S3 are on their nominal positions, shall be lower than 1.488 waves RMS (at λ= 632.8 nm) in the nominal temperature range

Justification: The camera will be tested using an interferometer. In this way this requirement has been wrote assuming that the wavefront error will be minimized (adjusting the camera position in the interferometer) during the test. The reference wavelength is λ=632.8 nm (HeNe laser line). The unvignetted field simulates a corner of the 7x7 arcmin OSIRIS FOV.

Effective focal length

The Camera Unit effective focal length (at λ= 632.8 nm) shall be 181.235±0.576 mm, assuming the doublet D1 and S3 are on their nominal positions

Source: OSIRIS Optical Group

Back focal

The Camera Unit back focal (at λ= 632.8 nm) shall be 9.267±0.36 mm, assuming the doublet D1 and S3 are on their nominal positions

Source: OSIRIS Optical Group

Camera Optics throughput

The minimum optical throughput for the Camera Unit shall be:

> 65 % at 365.0 nm

> 75 % at 656.3 nm

> 75 % at 852.1 nm

> 75 % at 953.2 nm

Source: OSIRIS Optical Group

A.4.4 Mechanical Performance Requirements

Radial displacements

The relative radial displacements between each lens on the Camera Barrel and the Barrel Interface, due to gravitational loads, shall be within the following tolerances:

X_{ca} displacements <2 μm

Y_{ca} displacements <2 μm

Source: Error Budget of image movement in spectroscopic mode

Justification: Camera barrel has been assumed fully rigid in the present FEA model. The specified values are the radial displacements of individual lenses inside the barrel that contribute to the image movement with the value assigned in the error budget of image movement. It is assumed that all the lenses have the same displacements, and the contributions of individual lenses to the image movement are rms added

Athermalization

The camera shall be passively athermalized to maintain the contribution of plate scale variations inside the value allowed in the image movement error budget.

Athermalization is obtained mounting a large CTE spacer between D3 and S2 to increase this distance at a rate of 13±1 μm/ºC

Plate scale and focus are insensitive to barrel materials having CTE≤$25x10^{-6}$ $ºC^{-1}$

The lenses shall not move radially nor tilt due to thermal effects. The errors introduced on radial positions by temperature changes shall be considered as an aditional source of error on the positional tolerances, which shall be limited as per 5.6

Parent requirement: RQ/IN-OS/5.1.8.15

Source: Error Budget of image movement in spectroscopic mode

Justification: The variation of the distance between lenses has no effect on image quality (it is perfectly compensated using the focus mechanism), but has an important impact on image movement due to plate scale variations

Lens stresses

Compressive or tensile stress in lenses and couplant interfaces (in doublets) shall not exceed 3.4 Mpa to avoid birefringence

Source: OSIRIS Mechanical Group

Justification: "Mounting lenses in Optical Instruments", P.R. Yoder, SPIE ed. p. 75 (1995)

Assembly repeatability

The errors introduced on lenses position by Camera dissasembling and reassembling shall be considered as an aditional source of error on the positional tolerances, which shall be limited as per 5.6

Source: OSIRIS Mechanical Group

Focus Unit linear travel

The linear travel along the Z_{ca} axis shall be ±5 mm from the Barrel #1 nominal position

Parent requirement: RQ/IN-OS/5.1.7.6 and 5.1.7.7

Source: Error Budget of image quality

Justification: This is a factor 2 over the largest focus movement needed to compensate the image quality in all the performed MonteCarlo runs

Focusing time

The maximum time to move the focus between end positions shall be less than 5 sec

Focus Unit translation repeatability

The repeatability (along the Z_{ca} axis) of Barrel #1 shall be better than ±20 μm

Parent requirement: RQ/IN-OS/5.1.7.6 and 5.1.7.7

Source: Error Budget of image quality

Justification: This is the axial positional tolerance of D1, obtained from the error budget nominal tolerances

Focus Unit translation resolution

The resolution along the Z_{ca} axis shall be better than ±4 μm

Source: OSIRIS Mechanical Group

Justification: This value is a factor 5 below the mechanism repeatability

A.4.5 Physical Requirements

Lenses nominal geometry

The nominal geometry of the camera lenses shall be as defined in Annex #1 (L1 and L2 refers to the first and second lens in a doublet). The positions of each lens reference vertex are included in the drawings

Source: OSIRIS Optical Group

Lenses optical aperture

The optical aperture of camera lenses are:

	OA
D1 (L1)	130 mm
D1 (L2)	130 mm
D2 (L1)	134 mm
D2 (L2)	134 mm
S1	130 mm
D3 (L1)	119 mm
D3 (L2)	109 mm
S2	91 mm
S3	87 mm

L1 and L2 have the same meaning than in 5.5.1

Source: OSIRIS Optical Group

Lenses nominal position

The coordinates of the reference vertex of each nominal lens are:

	X_{ca}	Y_{ca}	Z_{ca}
D1 (L1)	0.0	0.0	172.64 mm
D1 (L2)	0.0	0.0	128.56 mm
D2 (L1)	0.0	0.0	110.86 mm
D2 (L2)	0.0	0.0	68.28 mm
S1	0.0	0.0	11.78 mm
D3 (L1)	0.0	0.0	-15.22 mm
D3 (L2)	0.0	0.0	-23.2 mm
S2	0.0	0.0	-85.90 mm
S3	0.0	0.0	-108.40 mm

Source: OSIRIS Optical Group

Baffle specification

The baffle geometry inside the barrel is TBD. It shall be defined in the Kick-Off

Source: OSIRIS Optical Group

Ventilation holes

A ventilation path shall exist between the different air gaps in the barrel with a single exit to the exterior. This exit shall be provided with a dust filter and desiccant

Source: OSIRIS Mechanical Group

Shutter physical envelope

The free space for shutter is as defined in A.2

Source: OSIRIS Mechanical Group

Camera Barrel physical envelope

The geometrical envelope of the Camera Barrel (IN-OS-CA-110) shall be as defined in A.2

Source: OSIRIS Mechanical Group

Camera Barrel Mass

The maximum mass of the Camera Barrel shall be lower than 47 Kg

Source: Mass Budget

Camera Barrel Centre of Gravity

The position of the CoG of the Camera Barrel, with Barrel #1 on its nominal configuration, shall be within the range:

- $X_{ca} = 0 \pm 25$ mm (**TBC**)
- $Y_{ca} = 0 \pm 25$ mm (**TBC**)
- $Z_{ca} =$ **TBD**

A.4.6 Integration Requirements

Positional tolerances of lenses with respect to the Camera Barrel interface

The doublets D1, D2 and D3 and the singlets S1, S2 and S3 shall be centered with respect to the CULCS within the following tolerances:

	Tilt	Decenter	Axial
D1	±0.6 mrad	±150 µm	**N/A**
D2	±0.4 mrad	±100 µm	±100 µm
S1	±0.4 mrad	±50 µm	±100 µm
D3	±0.4 mrad	±100 µm	±60 µm
S2	±0.4 mrad	±56 µm	±100 µm
S3	±0.9 mrad	±208 µm	±223 µm

Source: Error Budget of image quality

Justification: Those values are the error budget nominal tolerances. Values are defined at 8.5 C according 5.10.1. Tilt and decenter tolerances shall not vary with the temperature, according 5.4.2

Positional tolerance of the Camera Barrel with respect to the interface

The tolerances of the interface zones shall be as defined in A.3

Source: Error Budget of image quality

Justification: The alignment tolerances obtained from the error budget have been allocated to the manufacturing tolerances in the interface zones in the Support Structure and the Camera Barrel

Doublet Roll

The maximum roll in the doublets shall be 57 µm

Justification: Error Budget of image quality

A.4.7 Material Requirements

Doublets couplant

The doublet couplant shall be selected by the Contractor and approved by the OPT

Justification: Corning Q2-3067 was the optical couplant proposed by the optical design. The transmission of this couplant in the UV spectral range can be lower of the efficiency requirement. This parameter must be tested.

Doublets couplant central thickness

The doublet couplant central thickness shall be (TBD) mm

Justification: The OSIRIS optical design proposes a thickness of 0.08 ± 0.01 mm for Corning Q2-3067 couplant.

Doublets couplant bubbles

The total bubbles cross-section shall be less than 0.0256 mm^2

Source: OSIRIS Optical Group

Doublets Couplant Efficiency

The efficiency of the couplant shall be better than 99 % from 365 to 953 nm

Source: OSIRIS Optical Group

Material of lenses

The lenses in the camera shall be made in the following optical glasses:

	Material	**Mass (g)**	**CTE (C^{-1}) at RT**
D1 (L1)	Ohara S-FPL53	1730	$14.2x10^{-6}$
D1 (L2)	Ohara BSM51Y	906	$6.3x10^{-6}$
D2 (L1)	CaF_2	1363	$18.9x10^{-6}$
D2 (L2)	Ohara S-BAL35Y	1129	$5.7x10^{-6}$
S1	Ohara S-FPL51Y	911	$13.6x10^{-6}$
D3 (L1)	Ohara S-BAL15Y	618	$7.6x10^{-6}$
D3 (L2)	CaF_2	1287	$18.9x10^{-6}$
S2	Ohara PBL6Y	496	$8.3x10^{-6}$
S3	Fused Silica	304	$0.55x10^{-6}$

Source: OSIRIS Optical Group

Material of Cells and Barrels

The material of the Cells and Barrels shall be selected by the Contractor and approved by the OPT

Cell thermal expansion guideline

The CTE of the Cells should be as near as possible to that of lenses

Source: OSIRIS Mechanical Group

Material condition

Materials whose characteristics have a direct impact on the performance, reliability or safety of the equipment will be procured according to either standars or manufacturer specifications and certificates of conformance will be requested from the supplier.

Structural materials shall be NDI (Non Destructive Inspection) inspected before their processing. All materials and parts used shall be subject to a reception inspection, whose extent shall be specified on the corresponding purchase documentation and the final deliverables shal be inspected as part of the factory acceptance.

Source: OSIRIS Mechanical Group

A.4.8 Thermal Requirements

Camera Optics Thermal Inertia guideline

The Camera Optics should have minimum thermal inertia

Heat dissipation guideline

The design of the Focus Unit should minimise the amount of heat power dissipated

Maximum heat dissipation

The maximum heat dissipated by electrical components is TBD. It shall be proposed by the Contractor and approved by the Project Team

The maximum heat dissipated when the focus unit is not moving shall be zero

Temperature of thermal control enclosures guideline

The temperature of the external surfaces of the enclosures of active heat sources located close to the optical light path or potentially creating convective thermal flow into it should differ negligibly from the ambient temperature.

A.4.9 Interface Requirements

Interface with the OSIRIS Support Structure

The interface between the Camera Barrel and the OSIRIS Support Structure shall be as defined in A.3 The mechanical interface zones shall be situated in the Camera Barrel Axial and Radial References

A.4.10 Design Requirements

Temperature of Reference

The temperature of reference for all the dimensions and tolerances shall be 8.5ºC, unless otherwise specified

Justification: OSIRIS requirements

Lens Cell

Lenses should be grouped in cells whenever is possible. Cells will be mounted inside a common barrel

Standardisation guideline

The components of the Camera should be standard, commercial and well proven and should be selected in such a way as to facilitate their maintenance.

Justification: OSIRIS requirements

A.4.11 Manufacturing Requirements

Temperature of Reference

The temperature of reference for all dimensions and tolerances during manufacturing of components shall be 20 C. Dimensions and tolerances shall be converted from design values to manufacturing values during the detailed design phase

Source: OSIRIS Mechanical Group

Justification: According DIN 102

A.4.12 Coating, painting and surface finish requirements

Surface treatment

All parts of the Camera Barrel which can scatter light into the instrument shall be optically black for wavelengths below 1.1 μm

The specified surface treatment to be used shall be proposed by the Contractor and approved by the OPT

A.4.13 Reliability Requirements

Lifetime guideline

The Camera should be designed for a minimum lifetime of 15 years under the environment conditions specified in 5.15 This lifetime start at first integration on OSIRIS

Source: OSIRIS System Group

MTBF

The MTBF shall be of at least 50.000 hours

Source: OSIRIS System Group

MTTR

The MTTR shall be shall be less than 2 hours

Source: OSIRIS System Group

A.4.14 Support Requirements

Maintenance Simplicity guideline

Maintenance tasks should be as simple as possible.

Justification: OSIRIS requirements

MPMNT

The Camera shall have a MPMNT of 0 hours

Source: OSIRIS System Group

A.4.15 Environmental Requirements

A.4.15.1 Environmental conditions

The Camera Unit shall be designed to operate and survive the conditions internal to the GTC telescope dome as stated in Table 5.1

	Nominal conditions	Limit of operation	Survival limit
Temperature	-2ºC to +19ºC	-6ºC to +30ºC	-15ºC to +35ºC
Thermal variation (at night) in 15 minutes	0ºC to 0.9ºC	N/A	N/A
Thermal variation (at night) in 1 hour	0ºC to 1.8ºC	N/A	N/A
Thermal variation (at night) in 2 hours	0ºC to 2.4ºC	N/A	N/A
Relative humidity	2% to 87%	90% (or condensation)	0% to 100% with condensation
Atmospheric pressure	770 to 790 mbar	N/A	N/A

Table 5.1 *Environmental conditions*

The Camera Unit requirements shall be fulfilled under the Nominal conditions. The Camera Unit shall be able to operate up to the limit of operation conditions but the specification may not be fulfilled. Under survival conditions the Camera Unit is supposed not to be in operation.

Justification: OSIRIS requirements

A.4.15.2 Earthquake survival

The Camera Unit mounted in OSIRIS shall be able to support earthquakes with the characteristics defined in regulation NCSE-94 for the ORM without suffering critical damage. A critical damage refers to any damage that can cause a structure collapse or a risk to produce it, or a decrease in the serviceability during the life cycle, that is, a damage that can produce the attainment of the limit states taken into account in the design of the structures.

A critical damage will be additionally any damage that prevents the Camera Unit to work within its specification or that constitutes a system failure, provided that this damage cannot be repaired within three times its MTTR

Justification: OSIRIS requirements

A.4.15.3 Load Requirements

The Camera Unit specifications shall be fulfilled in the following load cases:

- The gravity vector shall rotate 360º about X_{ca}
- The angle between the gravity vector and X_{ca} shall vary between 90° and 180°

Justification: OSIRIS requirements

A.4.16 Packaging, Handling, Storage and Transportation Requirements

Transport obligations

The Contractor shall be responsible, in cost and risk, to transport the equipment manufactured from its facilities to the IAC facilities. The package shall be designed to support normal air and sea transport condition. Table 5.2 shows this condition (TBC).

Condition	Value
Altitude	Sea level to 15500 m
Air temp induced by packing	-25ºC to + 70ºC
Temperature shock	±35ºC
Wind speed	0 to 67 m/sec
Relative humidity	0% to 100% with condensation
Cleanliness	Occasional dust, sand and insects
Gravity orientation	All orientations
Vibration (PSD)	0.015 g^2/Hz, 10 to 40 Hz 0.00015 g^2/Hz, 500 Hz
Shock (only for fragile items)	Peak acceleration 15g all axes
Salinity	High level

Table 5.2 **Handling and Storage Conditions**

The package shall be also designed to be used for preventive maintenance tasks and in case of reparation. So, the package shall be designed to support at least 10 packing and 10 unpacking operation keeping all its performances.

Justification: OSIRIS requirements

Handling and storage requirements

The design of the items and packages shall prevent them from being damaged under the conditions shown in Table 5.3

Condition	Requirement
Altitude	2250 to 2300 m
Ambient air temperature step[1]	11ºC
Cleanliness	Occasional dust, sand and insects
Temperature	-15ºC to +35ºC
Relative humidity	0% to 100% with condensation
Atmospheric pressure	770 to 790 mbar
Gravity orientation	All orientations
Vibration (PSD) (only for fragile items)	0.0008 g^2/Hz, 20 to 1000 Hz in all axes
Shock (only for fragile items)	Peak acceleration 10g all axes

Table 5.3 **Handling and Storage Conditions**

A.4.17 Verification Requirements

Temperature of Reference

All the measurement and verification tests shall be performed at 20 C. Dimensions and tolerances shall be converted from design values to values to be verified during the detailed design phase

Themal cycling shall be made between 20 C and -2 C before each test, to verify the stability of the camera under temperature changes in the nominal range. Specifications shall NOT be tested at other temperatures inside the nominal range, unless otherwise specified in the Verification Matrix

Analysis shall be used, if necessary, to verify the performance at other temperatures from the measured values at 20 C

Source: OSIRIS Mechanical Group

Justification: According DIN 102

[1] Maximum day temperature variation expected at the ORM.

A.5 Verification

Verification shall be accomplished by one or more of the following verification methods:

1. **Test (T):** When requirements have to be verified by measuring product performance and functionality. The analysis of data derived from test shall be considered an integral part of the test.
2. **Demonstration (D):** Can be considered as test where qualitative operational performance and requirements are demonstrated.
3. **Analysis (A):** When verification is achieved by performing theoretical o empirical evaluation by accepted techniques, the method shall be referred to as "Analysis". An example is the modelling and computational simulation.
4. **Inspection (I):** When verification is achieved by visual determination of physical characteristics (such as construction features, hardware conformance to document drawings, etc) the method shall be referred to as "Inspection".

The Verification Matrix (**VM**) shows the method proposed to accept each one of the critical requirements.
NV means No Verification is needed

APÉNDICE B

En este Apéndice se muestran las propiedades físicas del Zerodur® uno de los materiales más utilizados en la instrumentación astronómica. Una de sus principales características, racón por la cual es recurrido, es su bajo valor de coeficiente térmico de expansión. Es un material producido por la empresa SCHOTT®.

ZERODUR®

Informaciones sobre el producto

Zerodur® es una vitrocerámica con un coeficiente de dilatación térmica extraordinariamentebajo.

Las principales propiedades de Zerodur® son:

- Dilatación prácticamente cero, con una homogeneidad 3D excepcional
- Alta calidad interna
- Buena disposición mecánica para su procesado
- Se puede pulir con una precisión extraordinaria
- Se recubre fácilmente
- Reducida permeabilidad al helio
- No es porosa
- Buena resistencia térmica

Aplicaciones

Astronáutica:
Las bases de espejo de Zerodur® se vienen empleando desde hace más de 30 años para aplicaciones tanto terrestres como orbitales. Gracias a su calidad elevada y reproducible también se puede fabricar Zerodur® en grandes series, por lo que resulta también adecuado para los futuros grandes telescopios de la clase 20 – 100 m. Las más modernas tecnologías permiten la fabricación de estructuras ligeras, con una reducción de peso de más del 65%. Gracias a la excelente homogeneidad de su coeficiente de dilatación térmica, Zerodur® es un material ideal para los 'mandrels' utilizados para la fabricación de moldes exactos para espejos destinados a los futuros satélites de rayos X.

Microlitografía:
Zerodur® se utiliza como elemento móvil en 'wafer steppers' y 'wafer scanners' para obtener un posicionamiento exacto y reproducible de las obleas. Gracias a su dilatación cercana al cero y su homogeneidad y disposición mecánica sobresalientes, Zerodur® es un material ideal como substrato de las ópticas reflejantes de la futura litografía EUV.

Técnica de medición:
Debido a su dilatación térmica extraordinariamente reducida y la probada estabilidad a largo plazo, Zerodur® es un patrón de medida ideal en aparatos de medida.

Mecánica:
Gracias a la excelente disposición mecánica de Zerodur® en combinación con las más modernas tecnologías de fabricación, son posibles geometrías cada vez más complejas.

Otras aplicaciones:
Zerodur® presenta unas buenas propiedades de transmisión en el rango espectral óptico e infrarrojo, así como una alta homogeneidad óptica. Gracias a estas características Zerodur® se utiliza también en sistemas ópticos.

Formas de suministro

Zerodur® se puede suministrar en forma de discos, paralelepípedos, prismas, varillas y piezas cortadas con dimensiones que van desde unos pocos centímetros hasta 4 metros de tamaño. Las modernas máquinas de mecanizado CNC permiten geometrías complejas y estructuras de filigrana según las especificaciones del cliente.

Especificaciones

Dilatación térmica:
La dilatación térmica media en el intervalo de temperaturas que va desde los 0 hasta los 50ºC de las piezas de Zerodur® individuales (discos, planchas, varillas) se puede subdividir en tres clases de dilatación distintas:

- Clase de dilatación 2 0 ± 0,10*10-6 K-1
- Clase de dilatación 1 0 ± 0,05*10-6 K-1
- Clase de dilatación 0 0 ± 0,02*10-6 K-1

La homogeneidad del coeficiente de dilatación térmica se sitúa típicamente en el intervalo que va desde 0,01 hasta 0,02*10-6 K-1. Bajo demanda podemos suministrar también homogeneidades de < 0,01*10-6 K-1.

Calidad interna:
En cuanto a la calidad interna de Zerodur® "estándar" con dimensiones típicas de < 500 mm es aplicable lo siguiente:

- Superficie proyectada de todas las inclusiones 2 mm2 / 100 cm3
- Cantidad media de inclusiones 5 / 100 cm3
- Diámetro máximo de las inclusiones individuales 3,0 (1,4 en el volumen crítico)
- Estrías (birrefringencia) < 60 nm / estría

- Tensión global < 6 nm / cm.

Otras propiedades:

- Densidad 2,53 g/cm3
- Conductividad térmica a 20ºC 1,46 W/(m*K)
- Difusividad térmica a 20ºC 0,72*10-6 m2/s
- Capacidad térmica 0,8 J/(g*K)
- Módulo elástico a 20ºC 90,3 Gpa
- Módulo de Poisson 0,243
- Dureza Knoop 0,1/20 620

En el Catálogo Zerodur® se pueden encontrar también tolerancias más estrechas y tolerancias de fabricación típicas para dimensiones más grandes. Estos datos están también disponibles bajo demanda.

Aseguramiento de calidad

La producción de Zerodur® es supervisada a lo largo de todos los pasos de fabricación. Adicionalmente se lleva a cabo una inspección final completa. Para la misma disponemos de los aparatos de medida siguientes:

- Coeficiente de dilatación: Dilatómetros de alta precisión (con patrones PTB)
- Geometría y forma: Máquinas de medición de coordenadas 3D móviles y estacionarias de alta precisión
- Calidad superficial: Aparato de medición de rugosidad
- Calidad interna: Microscopios de medición precisos y configuraciones para ensayos de tensión según el método *de Senarmont*
- Homogeneidad óptica: Interferómetros con una apertura de hasta 500 mm

APÉNDICE C

A continuación se muestran las dimensiones y datos técnicos de las especificaciones de los lentes para la cámara tal cual fueron presentadas por el grupo científico del instrumento OSIRIS.

OSIRIS CAMERA D1L1 LENS AT 20°C

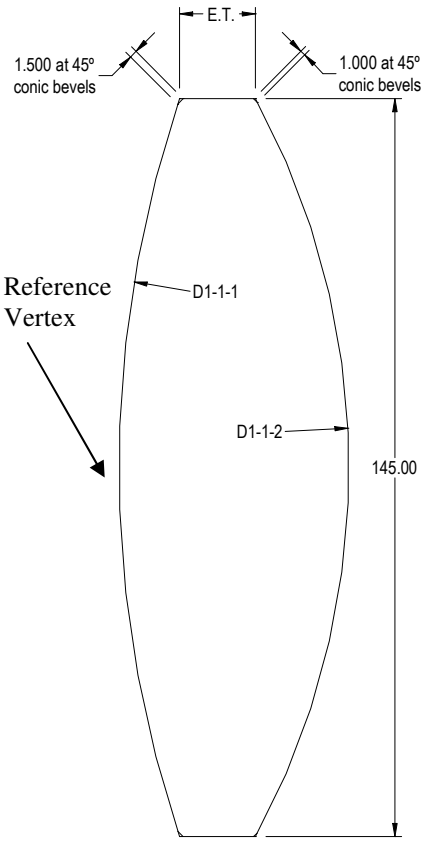
Material S-FPL53
Diameter 145.02 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 44.01 +/- 0.102 mm
Maximum Wedge 0.048015 Deg
Edge
Burnished with 220 or finer rounding stone
Edge Thickness Fixed by curvatures
Ink blackened

D1-1-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. Full Aperture
Convex Radius 218.23 +/- 0.347 mm

D1-1-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. Full Aperture
Convex Radius 146.16 +/- 0.2 mm



D1L1 data sheet

OSIRIS CAMERA D1L2 LENS AT 20°C **Material** S-BSM51Y

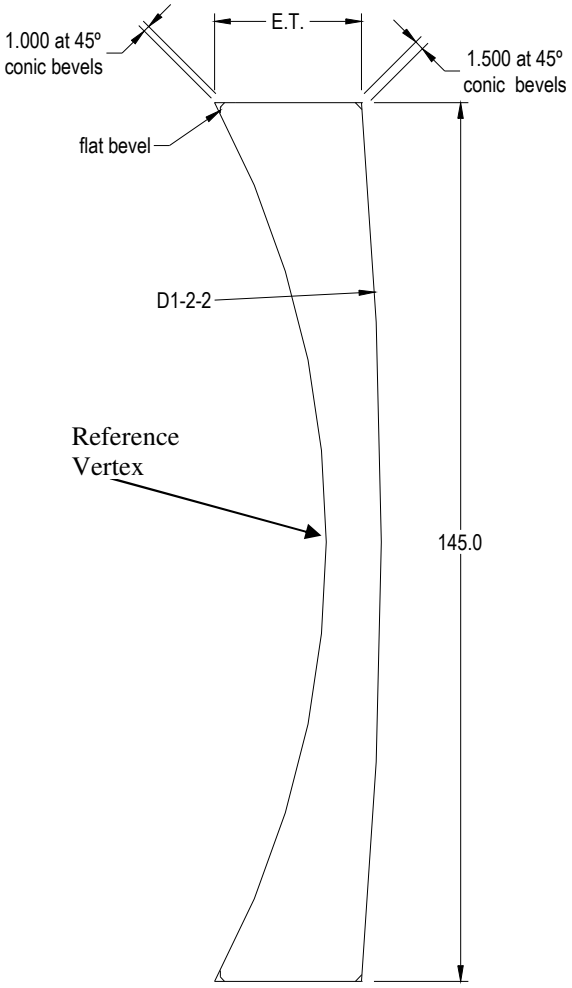
Diameter 145.02 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 8.80 +/- 0.102 mm
Maximum Wedge 0.038729 Deg
Edge
Burnished with 220 or finer rounding stone
Edge Thickness Fixed by curvatures
Ink blackened

D1-2-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. Full Aperture
Concave Radius 146.24 +/- 0.2 mm

D1-2-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. Full Aperture
Convex Radius 679.50 +/- 3.38 mm



D1L2 data sheet

OSIRIS CAMERA D2L1 LENS AT 20°C

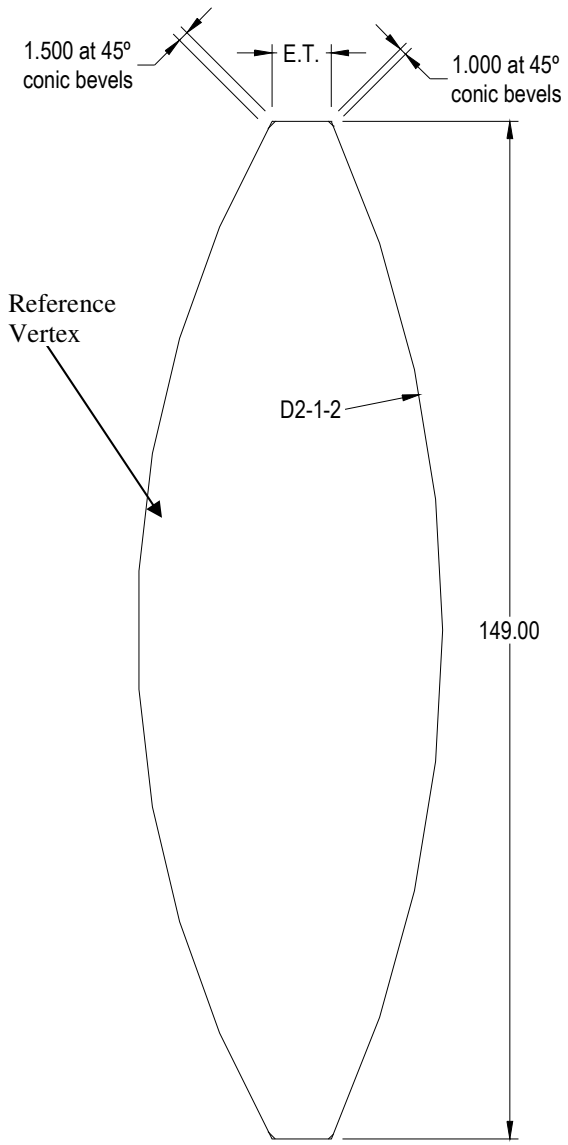
Material CAF2
Diameter 149.0 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 42.51 +/- 0.1 mm
Maximum Wedge 0.050068 Deg
Edge
POLISHED
Edge Thickness Fixed by curvatures
Ink blackened

D2-1-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevels
Convex Radius 146.23 +/- 0.2 mm
Conic Bevel
POLISHED
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.50 mm
Ink blackened

D2-1-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevels
Convex Radius 172.96 +/- 0.218 mm
Conic Bevel
POLISHED
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened



D2L1 data sheet

OSIRIS CAMERA D2L2 LENS AT 20°C

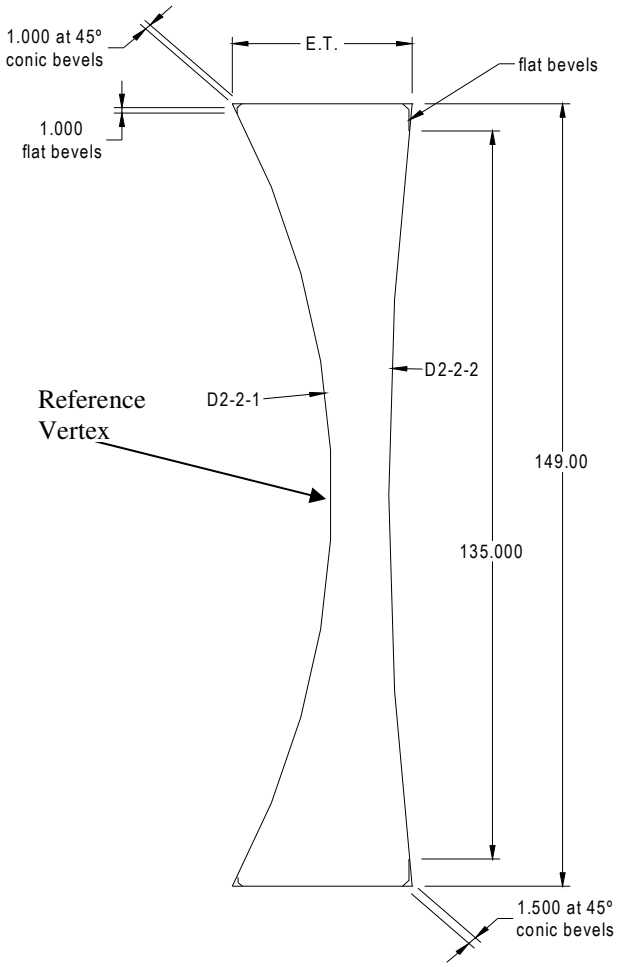
Material S-BAL35Y
Diameter 149.0 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 9.10 +/- 0.1 mm
Maximum Wedge 0.040818 Deg
Edge
Burnished with 220 or finer rounding stone
Edge Thickness Fixed by curvatures/bevels
Ink blackened

D2-1-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevel
Concave Radius 173.04 +/- 0.218 mm
Flat Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 90.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened

D2-1-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. 135.00 mm
Concave Radius 503.1 +/- 1.867 mm
Flat Bevel
Inner diameter 135.00 +0.1/-0.5 mm
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 90.00 +/-0.033 Deg.
Ink blackened
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.50 mm
Ink blackened



D2L2 data sheet

OSIRIS CAMERA S1 LENS AT 20°C

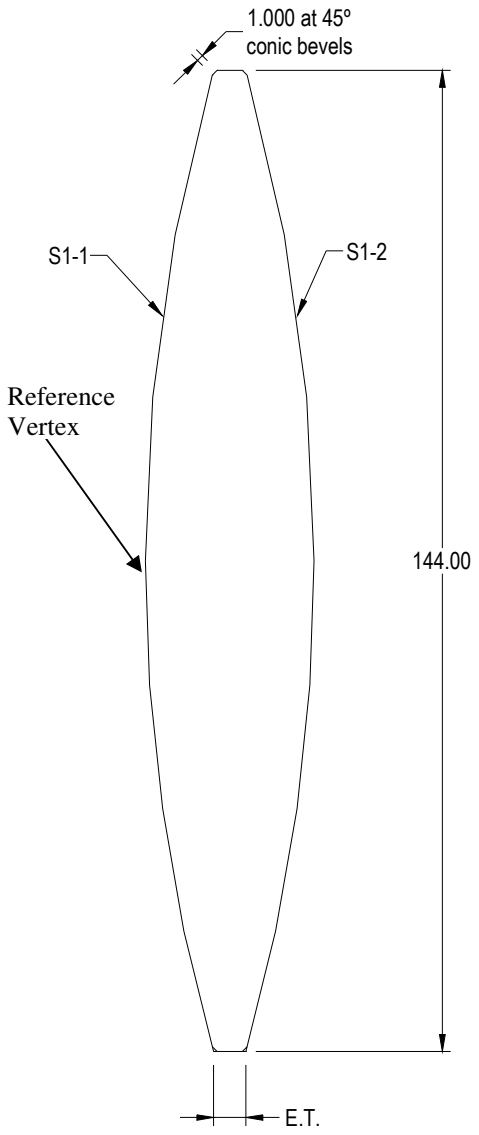
Material S-FPL51Y
Diameter 144.0 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 25.00 +/- 0.1 mm
Maximum Wedge 0.045953 Deg
Edge
Burnished with 220 or finer rounding stone
Edge Thickness Fixed by curvatures/bevels
Ink blackened

S1-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevel
Convex Radius 264.8 +/- 0.509 mm
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened

S1-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevel
Convex Radius 264.8 +/- 0.509 mm
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened



S1 data sheet

OSIRIS CAMERA D3L1 LENS AT 20°C

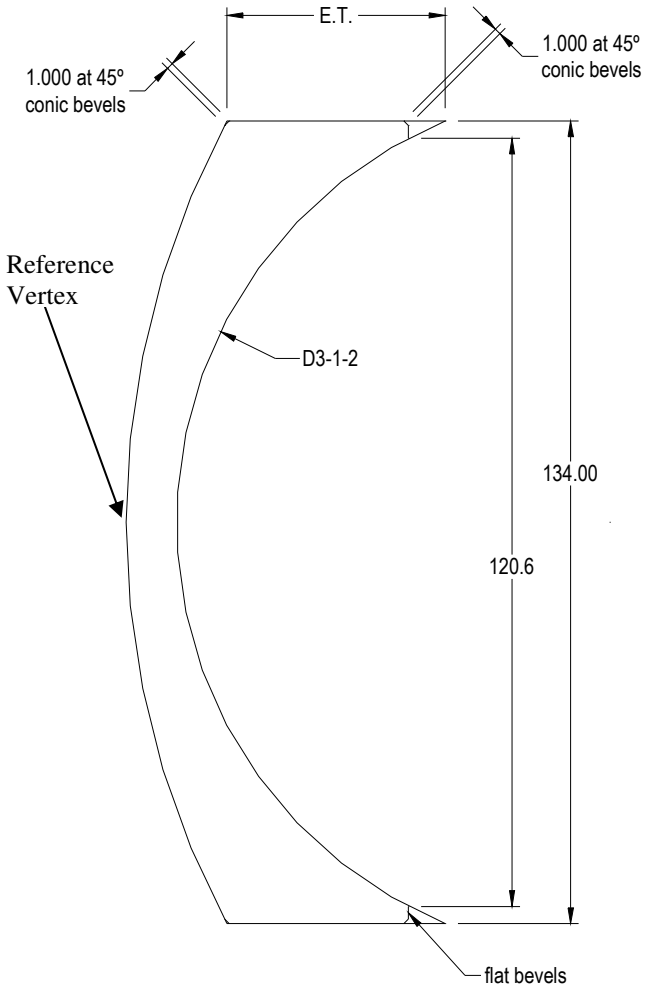
Material S-BAL15Y
Diameter 134.0 + 0.0/-0.15 mm
Central Thickness 7.90 +/- 0.1 mm
Maximum Wedge 0.036963 Deg
Edge
Burnished with 220 or finer rounding stone
Edge Thickness Fixed by curvatures/bevels
Ink blackened

D3-1-1 SURFACE

Polished Clr. Ap. To bevel
Convex Radius 133.1 +/- 0.202 mm
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened

D3-1-2 SURFACE

Polished Clr. Ap. 120.586 mm
Concave Radius 68.70 +/- 0.203 mm
Flat Bevel
Inner diameter 120.586 +0.1/-0.5 mm
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 90.00 +/-0.033 Deg.
Ink blackened
Conic Bevel
Burnished with 302 Emery
Angle to Axis 45.00 +/-5.00 Deg.
Max. Face width 1.00 mm
Ink blackened



D3L1 data sheet

OSIRIS CAMERA S2 LENS AT 20°C

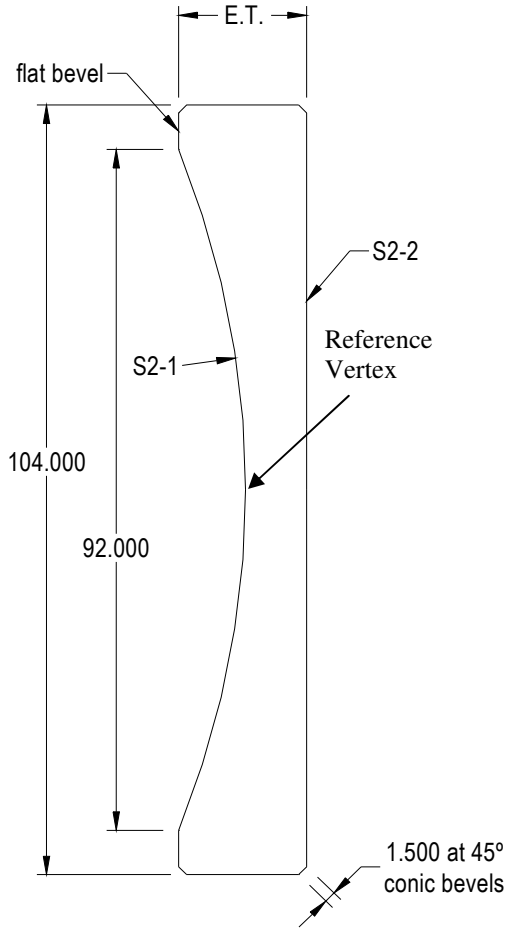
Material	PBL6Y		
Diameter	104.01	+ 0.0/-0.15	mm
Center Thickness	8.00	+/- 0.102	mm
Edge			
Burnished with 220 or finer rounding stone			
Thickness	16.757 +/- 0.1		mm
Ink blackened			

S2-1 Surface

Polished Clr. Ap.	92.00	+ 0.5/-0.1	mm
Concave Radius	125.21	+/- 0.203	mm
Flat Bevel			
Burnished with	302	Emery	
Inner Diameter	92.0	+ 0.5/-0.1	mm
Angle to Axis	90.0	+/- 0.033	Deg.
Ink blackened			
Conic Bevel			
Burnished with	302	Emery	
Angle to Axis	45.0	+/-2.00	Deg.
Max. Face width	1.50	mm	
Ink blackened			

S2-2 Surface

Polished Clr. Ap.	Full Aperture		
Flat Surface Fit.		+/- 2.00	Frin.
Conic Bevel			
Burnished with	302	Emery	
Angle to Axis	45.0	+/-2.00	Deg.
Max. Face width	1.50		mm
Ink blackened			



S2 data sheet

APÉNDICE D

A continuación se muestra el Documento original elaborado para la Revisión de Diseño Preliminar del Barril para la Cámara del instrumento OSIRIS.

OSIRIS

TITLE

Camera Barrel
Preliminary Design

Code:	IN/OS-CS/CBPD
Issue:	1.A
Date:	19/02/03
No. of pages:	22

Approval control

Prepared by	Alejandro Farah Simón Mechanical System Engineer	
Revised by	J. Jesús González Co-Principal Investigator Francisco Cobos UNAM Optical Engineer Carlos Tejada UNAM Optical Engineer	
Approved by	Beatriz Sánchez Project Manager Local	

APPLICABLE DOCUMENTS

Nº	Document title	Code	Issue
A.1	Camera Unit Specification	DM/SR-OSI/143v.3	3.A
A.2			
A.3			

Reference documents

Nº	Document title	Code	Issue
R.1	OSIRIS Mechanical Concept	DM/CD-OSI/147v.2	2.A
R.2	OSIRIS Situation at Focal Stations	DR/IN-OS/000	2.A
R.3	OSIRIS General Layout	DR/IN-OS/001	2.A
R.4	Camera Lens Specification		1.A
R.5	Cryostat Window Specification	DM/SR-OSI/266v.1	1.A
R.6	Mechanical Calculations		1.A

List of acronyms and abbreviations

B	Barrel
CB	Camera Barrel
CIDESI	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
CoG	Center of Gravity
CULCS	Camera Unit Local Coordinate System
D	Doublet
DU	Detector Unit
FU	Focus Unit
GTC	Gran Telescopio Canarias
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
IAC	Instituto de Astrofísica de Canarias
MPMNT	Mean Preventive Maintenance Night Time
MTBF	Mean Time between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
NA	Not Applicable
OPT	OSIRIS Project Team
OSIRIS	Optical System for Imaging and low/intermediate Resolution Integrated Spectroscopy
ORM	Roque de Los Muchachos Observatory (at La Palma)
OSS	OSIRIS Support Structure
PDR	Preliminary Design Review
PTC	Passive Thermal Compensator
ROC	Radius of Curvature
RS	Radial Support
RT	Temperature of Reference (8.5 ^{o}C)
S	Singlet
SI	Shutter Interface
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined

CONTENTS

1. SUMMARY 162

2. INTRODUCTION 162

2.1 CAMERA OPTICS 163

2.2 SPECIFICATIONS AND REQUIREMENTS 164

3. DESIGN CRITERIA, PARAMETERS AND INDICATORS 164

3.1 DESIGN CRITERIA 164

3.2 PARAMETERS 164

3.3 INDICATORS 165

4. CAMERA BARREL GENERAL DESCRIPTION 165

4.1 CAMERA BARREL 1ST STAGE: THE B1C1 CELL FOR DOUBLET D1 AND THE FOCUS UNIT168

4.2 CAMERA BARREL 2ND STAGE: ALL REMAINING LENS CELLS AND THE PTC 169

4.2.1 Doublet D2 Cell (B2C1) 169

4.2.2 The Shutter and Support Interface 170

4.2.3 Singlet S1 Cell (B2C2) 170

4.2.4 Doublet D3 and Singlet S2 Cells and the Passive Thermal Compensator (PTC) ... 171

5. CAMERA BARREL MATERIALS AND WEIGHT 171

6. MACHINING PROCESS 172

6.1 CAMERA BARREL 172

6.2 RADIAL SUPPORT 172

7. ASSEMBLY AND DISASSEMBLY 173

7.1 MACHINING TOLERANCES 174

8. ERROR BUDGET 174

9. LIST OF COMPONENTS 175

10. VERIFICATION 175

1. SUMMARY

This document presents a brief but complete description of the OSIRIS Camera Barrel Preliminary Design. This description presents the design concept and all its components avoiding the length of full numerical details, which are presented in a companion document (R.6). The present manuscript also includes a description for machining and assembly of the Camera Barrel as well as its error budget and verification matrix.

2. INTRODUCTION

OSIRIS is an imaging system and a low-resolution long-slit and multi-object spectrograph for the GTC, covering the optical wavelength range 0.365-1.0 µm with a field of view of 8.53'x 8.67' and 8.53'x5' in direct imaging and low-resolution spectroscopy respectively. OSIRIS represents a new generation of instrumental observing techniques for large telescopes, which includes concepts like tunable filters and charge shuffling modes, among others. (see Figure 2.1)

OSIRIS shall be installed on Day One at the Nasmyth-B GTC focus station, although it is designed to work at the Cassegrain focus as well. OSIRIS shall be directly attached to the mechanical rotator without any additional support.

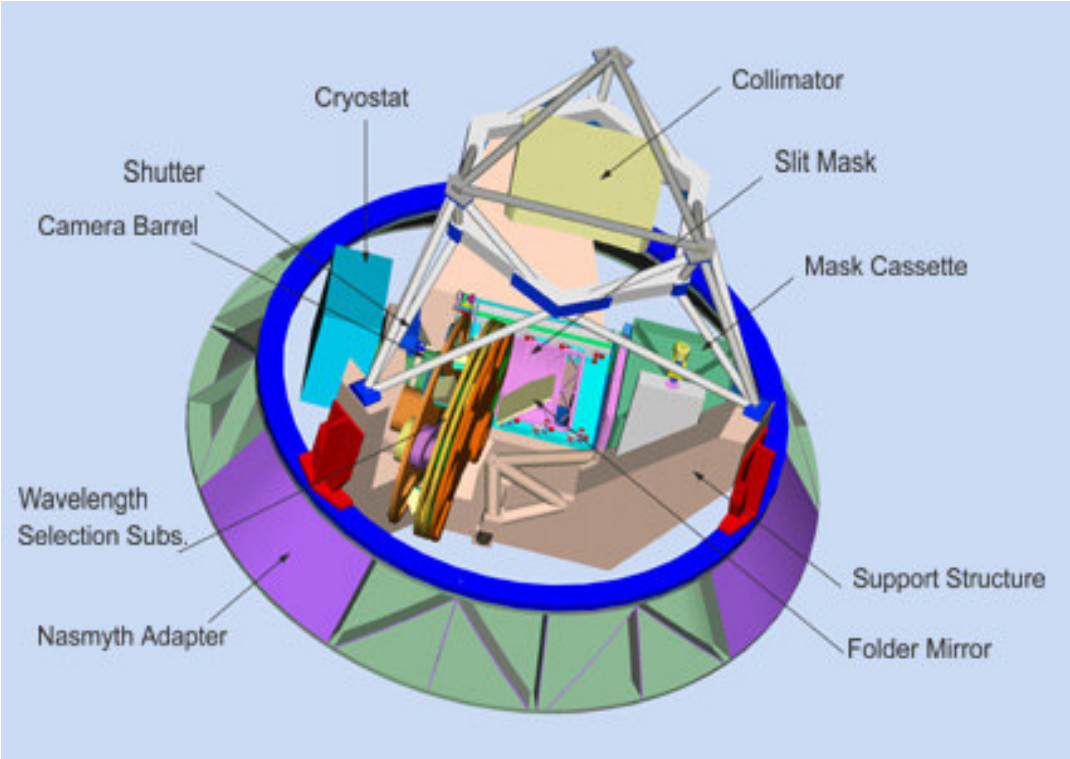


Figure 2.1 General view of OSIRIS without its thermal envelope

2.1 Camera Optics

Figure 2.2 shows the optical components and nomenclature of the OSIRIS Camera Unit. This Camera Unit is functionally separated in two parts: a Cryostat Window and a Camera Barrel (Figure 2.3). In particular, the Camera Barrel (CB) holding the optics consists of two main subunits: Barrel #1 with the cell for the first doublet (D1) and a Focus Unit that axially moves this cell for focusing the camera; and a second stage, Barrel #2, with cells for the remaining doublets (D2 and D3) and a pair of single lenses (S1 and S2).

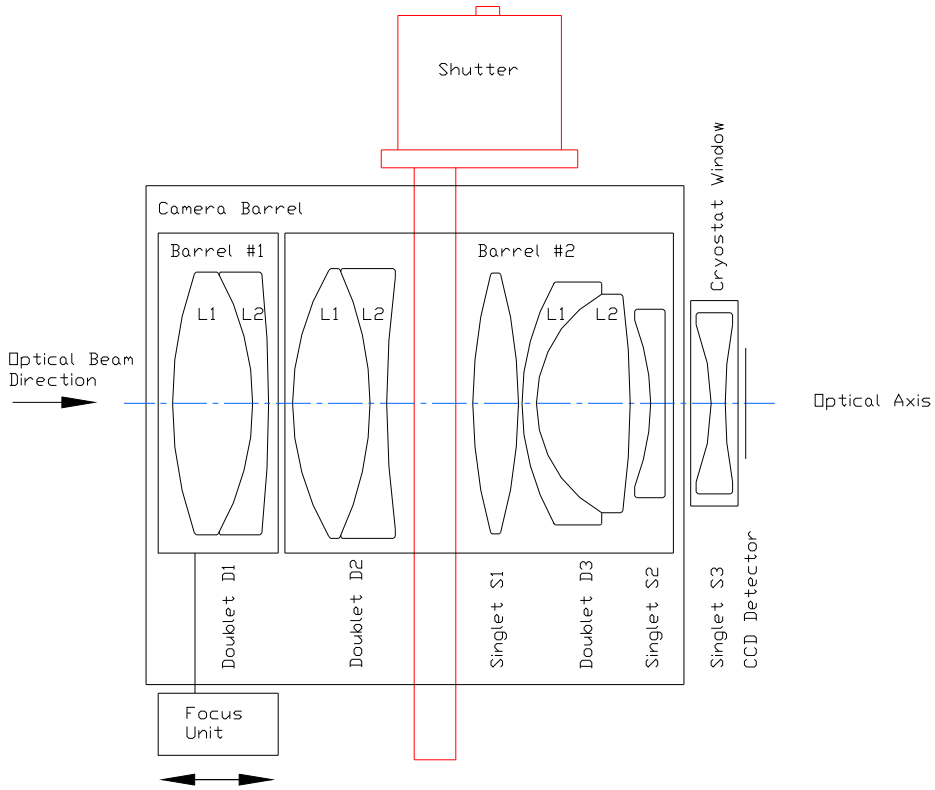


Figure 2.2 OSIRIS Camera Unit: optics, elements, nomenclature and main barrel subunits.

The final camera lens (S3) also has power but, as it serves as the cryostat window, it is mounted to the cryostat itself (Cryostat Lens Attachment in A.1), without a common interface with the Camera Barrel and is not a functional part of the CB. The OSIRIS shutter passes through the CB between lenses D2 and S1 but, being attached directly to the OSIRIS Support Structure, it is not part of the Camera Unit and, besides, the required envelopes and proper interfaces, it is also not a subject of the CB design presented in this document.

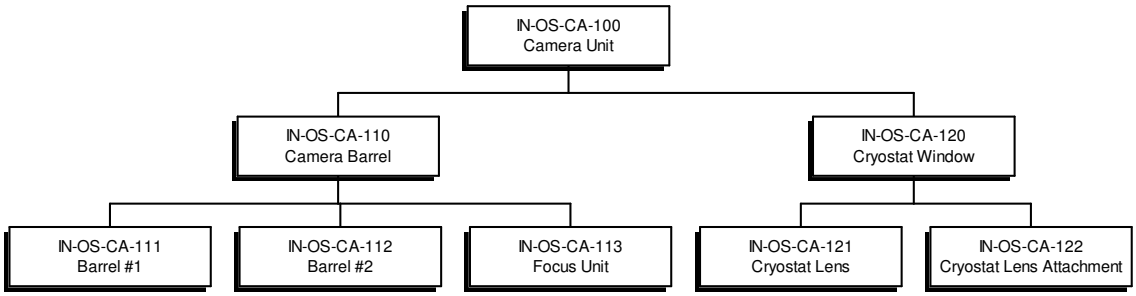


Figure 2.3 Functional Diagram of the OSIRIS Camera Unit

2.2 Specifications and Requirements

The OSIRIS Camera Barrel shall comply with all the specifications and requirements established on document Camera Unit Specification (see A.1).

3. DESIGN CRITERIA, PARAMETERS AND INDICATORS

3.1 Design Criteria

- The temperature range of operation is –6 to 30 °C (fulfilling specifications).
- The CB performance under thermal variations and gravity deflections, both critical, shall be fully considered during all design stages.
- The machining temperature will be considered to differ from the design temperature.
- The CTE of the cells and of the radial support (RS) for the lenses should be as close as possible to the CTE of the lens glasses.
- The CB weight should be as low as possible below 47 kg following specifications (A.1).
- The design guidelines reflect directly from the compressive and tensile stresses in lenses together with their bulk displacements and rotations relative to the optical axis.

3.2 Parameters

- Stress: Tresca criteria and maximum principal stresses.
- Displacements of the lenses vertex and rotations relative to the optical axis.

3.3 Indicators

- Stress: the maximum permissible stress on the optical aperture of camera lenses shall be less than 3.4 MPa. All the barrel components shall satisfy the yield stresses (see A.1).
- Lenses Nominal Position shall be maintained within their specified tolerances (A.1).

4. CAMERA BARREL GENERAL DESCRIPTION

The fully assembled CB as in the present preliminary design is shown in Figure 4.1. It is conceived as a modular design to provide an easier assembly and disassembly process. There are four basic subassemblies in the CB (B1C1 in barrel#1, and B2C1, B2C2 and B2C3 in barrel#2), two external interfaces (shutter and instrument support structure) and two mechanisms (a Focusing Unit and a Passive Thermal Compensating unit). The barrel first stage contains the cell of the first doublet D1 and the Focusing Unit (FU). The second stage of the barrel contains the cells for the rest of the lenses and the Passive Thermal Compensator (PTC), it also includes the interfaces with the shutter and with the OSIRIS support structure. As mentioned before, the final camera lens (S3) is also the cryostat window and, as the shutter, is not a part of the CB design.

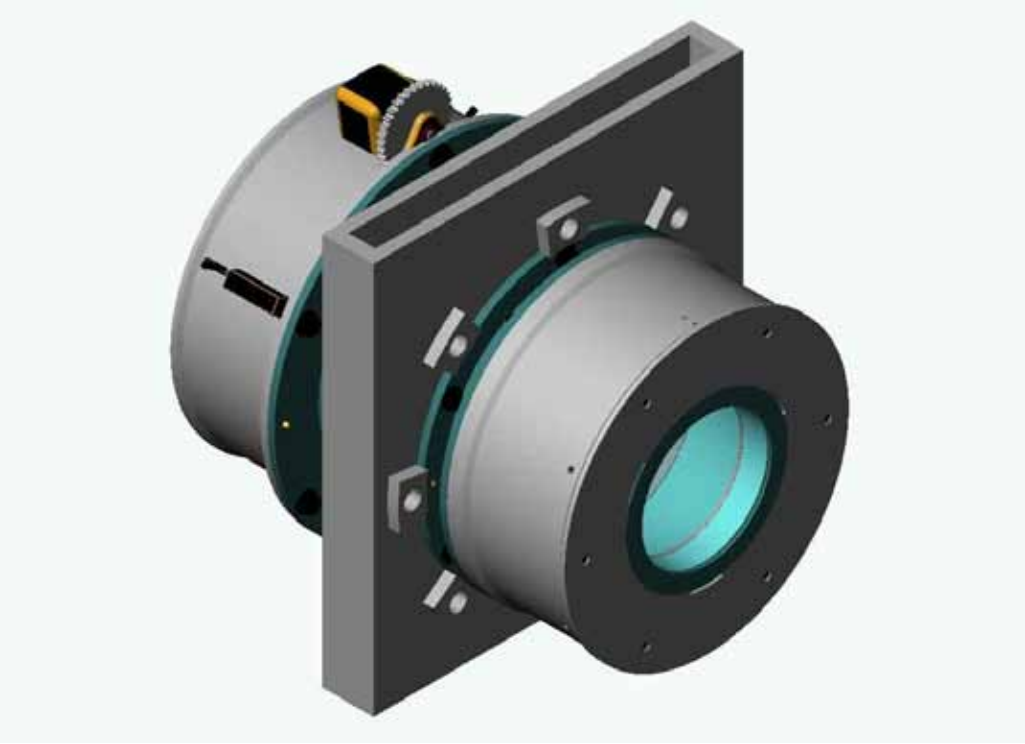


Figure 4.1 Fully assembled Camera Barrel as in the present design

Every lens D1, D2, D3, S1 and S2 is contained by its own individual cell. Each of these lenses can be accessed without disassembling the entire CB. The CB is assembled by bolts and nuts; the repeatability of this process is achieved with the aid of dowel pins (see Figure 4.2 and 4.3).

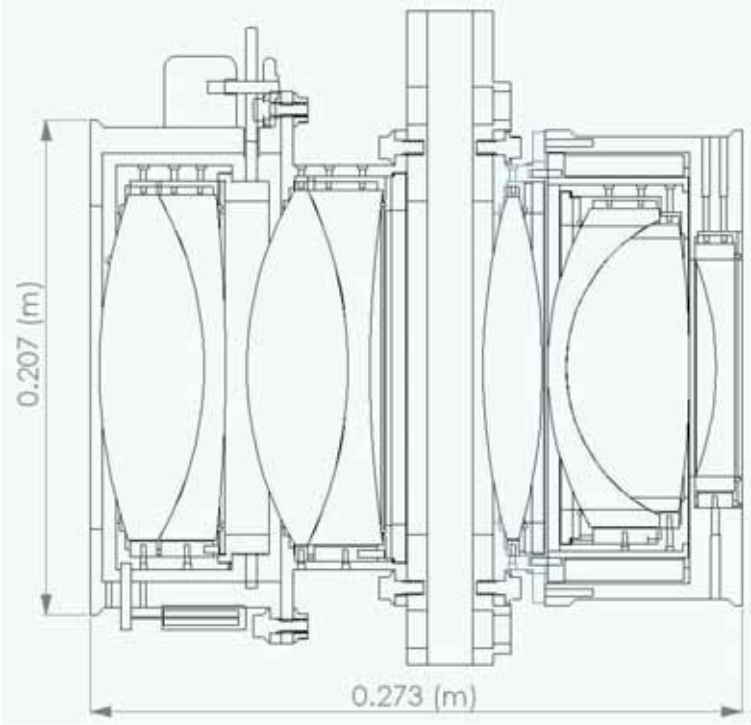


Figure 4.2 Lateral cross view of the Camera Barrel showing also the optical lenses

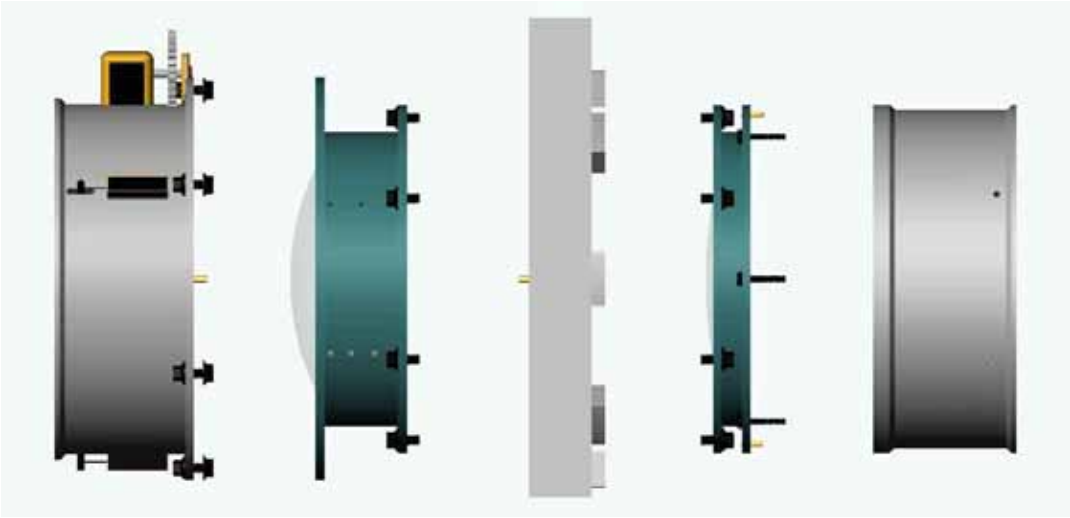


Figure 4.3 Exploded view of the CB subassemblies

The Camera Barrel satisfies the dimensional requirements of the OSIRIS support structure interface (Figure 4.4). The CB design fits inside the very tight envelope limits described in (IN-OS-IM-070_000_01-1A), and does not severely exceeds the volume actually filled by the optics itself.

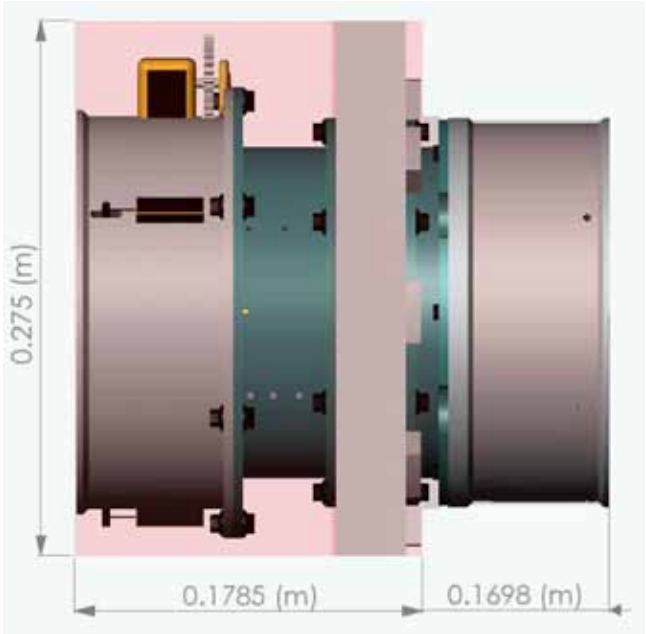


Figure 4.4 The CB design fits just within its tight dimensional envelope limits

The concept of the Radial Support (RS) of the lenses is shown in Figure 4.5. It consists of a ring with damping wharfs machinated as a single solid piece. Each RS ring seats and fits directly on the lens cell, with the great advantage of not requiring further calibration (see R.6).

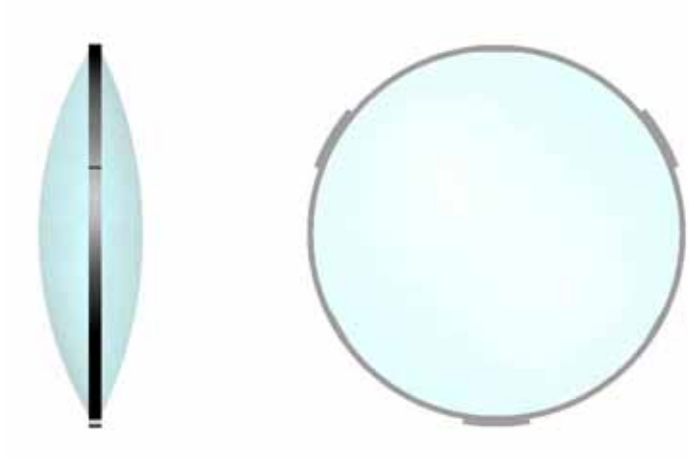


Figure 4.5 Example of a typical lens radial support ring (for lens S1)

The axial position of each lens is referenced by Sharp Edge mechanical tops. In order to release most of the stress induced by thermal differential expansions, O-rings are used between the contact surfaces with the restrictive separators (Figure 4.2 and 4.6), which screw into the cell with a specific controlled torque (see R6). The residual stresses on each lens were analyzed by means of FEA software guaranteeing to remain well below the specified levels (see R.6).

Figure 4.6 The B2C2 cell, holding singlet S1, as an example of cell components. Shown are (1) the cell, (2) the Radial Support ring (RSS1), (3) the lens (S1), (4) an O-ring and (5, 6) the separators. All other lens cells in the OSIRIS CB have the same concept and components.

4.1 Camera Barrel 1st Stage: the B1C1 cell for Doublet D1 and the Focus Unit

The B1C1 cell supports and restricts the first camera doublet using exactly the same elements described before and in Figure 4.6.

The FU works with a step motor and a helical gears system that moves the B1C1 cell, back and forth, along the optical axis (Figure 4.7). The system is preloaded to avoid all mechanical backlashes, especially in the screws. Nevertheless, the error budget allows for these misalignments (see R.6).

The translation of the D1 cell does not present any rotation along all the focusing run, this is possible because of guidelines and an axial bearing system. The position of D1 is continuously registered with a linear position encoder. B1C1 is directly coupled to B2C1 by 6 bolts and nuts.

Figure 4.7 First barrel stage (barrel#1) with the B1C1 cell and the Focusing Unit. Bolts fix the barrel to the interface with the shutter and the supporting structure of OSIRIS

4.2 Camera Barrel 2nd Stage: all remaining lens cells and the PTC

The second stage of the barrel, hooks on from the Shutter and OSIRIS Support Structure interface, and contains four cells; a pair for the doublet lenses and a pair for the singlet lenses together with a Passive Thermal Compensator mechanism.

4.2.1 Doublet D2 Cell (B2C1)

Figure 4.8 shows B2C1 (Table 9.1), the cell supporting the 2nd camera doublet D2. It has two interfaces: one with B2C1, and another with the shutter (SI).

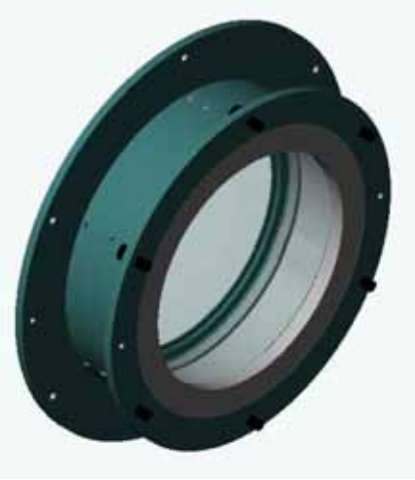


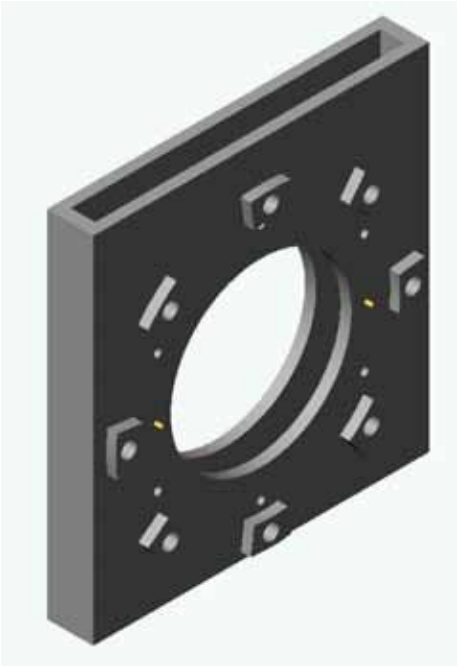
Figure 4.8 The B2C1 cell holding doublet lens D2: assembled view, elements as in Figure 4.6. The face with larger radius connects to the OSIRIS shutter and support interface.

4.2.2 The Shutter and Support Interface

The SI function allows access of the OSIRIS shutter but, more importantly, it is also the interface to the supporting structure of the instrument. Because of this, the strength requirement prompted us to use high stiffness steel to machinate it (Figure 4.9). The screws location is defined in (IN-OS-IM-070_000_01-1A). The SI naturally and nicely couples the first barrel stage (B2C1 and FU)) with the second (B2C2) through the support structure of the instrument.

4.2.3 Singlet S1 Cell (B2C2)

Figure 4.10 shows B2C2 that holds and secures the singlet S1 (see Table 9.1). It has two interfaces, one with the shutter and supporting structure of OSIRIS, and another with the following B2C3 cell of barrel#2.



(4.9)

(4.10)

Figure 4.9 The interface with the shutter and the instrument support structure. This element is to be made off high-stiffness steel to hook up both camera barrel stages to the OSIRIS supporting structure (it is also the interface with the OSIRIS shutter)

Figure 4.10 The B2C2 cell for singlet S1 (elements as in Figure 4.6). Both ends are interfaces with barrel#2 elements, both secured with bolts and nuts

4.2.4 Doublet D3 and Singlet S2 Cells and the Passive Thermal Compensator (PTC)

The third cell of barrel#2, B2C3, contains three important components: the cells for D3 and S2, and the Passive Thermal Compensator (PTC) system (Figure 4.11). The PTC surrounds the D3 cell and it is designed to passively compensate the optics thermal effects on plate-scale variations (image motion) and image quality at least within the full operational range of temperatures (see SPIE 4841, *"OSIRIS camera optics thermal analysis and compensators"*). Passive athermalization is obtained mounting a large-CTE copolymer spacer between D3 and S2 to vary their separation at a rate of 13±1 μm/°C (see A.1). The mechanical properties of the copolymer shall be certified by a Metrological Laboratory. For deeper and relevant details on the stiffness and thermal performance of the PTC please refer to the Mechanical Calculation Document.

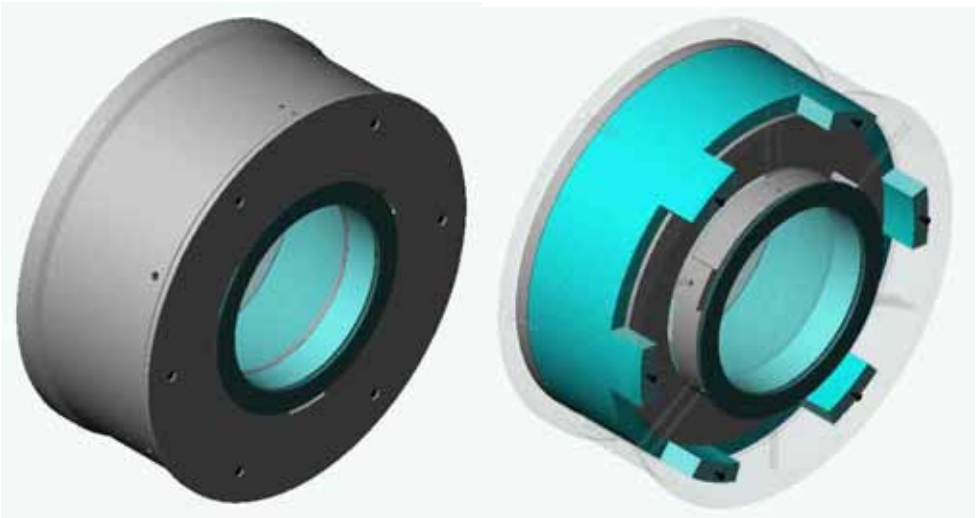


Figure 4.11. The assembled B2C3 cells and a view of the PTC system

The joints between the PTC and the mechanical references in the S2 cell should be as stable as possible to meet the athermalization requirements. Prior to the critical design review, the final dimensions of the PTC will be adjusted (R.6) to match the expected thermal behavior of the actual camera optics (glasses and metals).

5. CAMERA BARREL MATERIALS AND WEIGHT

Except for the shutter/support interface (SI), Aluminum has been selected as the main material for the OSIRIS Camera Barrel because its low mass density and machinability (see R6). For components that need a higher stiffness than the aluminum, high stiffness steel is proposed (R6). That's the case of the SI, the FU helicoidal gears, and others. The following CB weight estimation does not include neither the bearings of the Focusing Unit, nor bolts and nuts. Refer to Table 9.1 for a list of components.

3D model estimated weight:	15.2 kg
Lens estimated weight:	9 kg
CB estimated total weight:	24.2 kg

6. MACHINING PROCESS

6.1 Camera Barrel

The machining process will be made with equipment CNC (according to tolerances in Table 7.1). The cells will be first machinated separately and later assembled (Figure 6.1). The dimensions of the camera will be verified and rectified if it is necessary. The CB repeatability assembly is possible because the use of dowel pins. The process guarantees the coincidence of the mechanical axes.

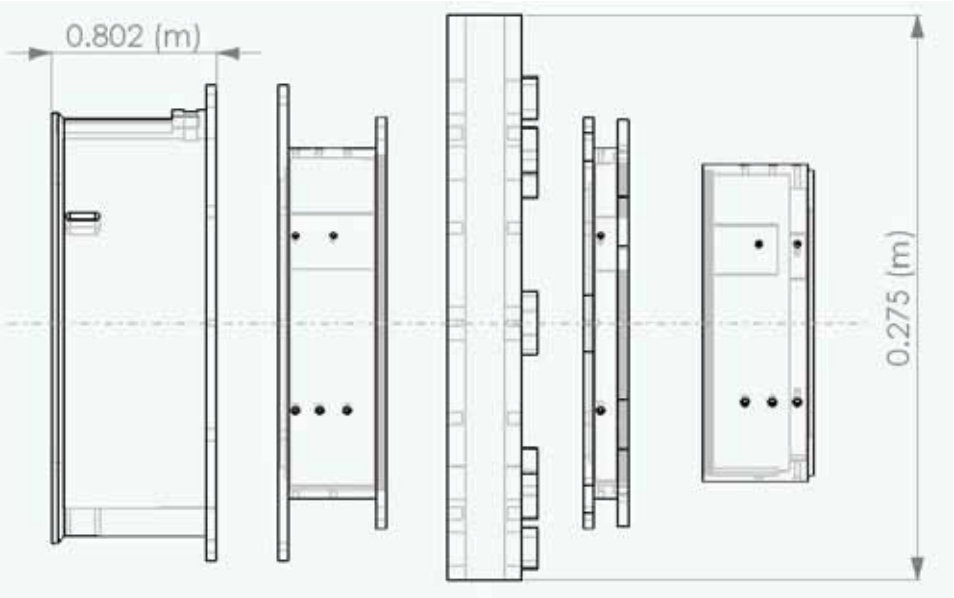


Fig 6.1 Machining process of the Camera Barrel

6.2 Radial Support

The RS is the interface between the lens(es) and the cell. The dimension of the RS is based on the final dimensions of the finished lenses. In order to avoid stress concentration, the RS contact with the lens should be as homogenous and precise as possible (Figure 6.2). For machining it is important to keep in mind and calculate the actual piece size at the relevant temperatures (design and shop temperatures as well as the frictional heating).

In order to obtain the alignment between optical and mechanical axes, the contact areas should describe a circumference equally matched to the geometry of the finished lens. In the case of axes misalignments it is possible to turn the lens around the RS to find the optimal contact area. In this process it is important to define a reference point. The cells axes should be as coincident as possible to guarantee the CB concentricity. The cells machining process can be made with a fixed reference point during the different processes to achieve it (see Assembly and Disassembly).

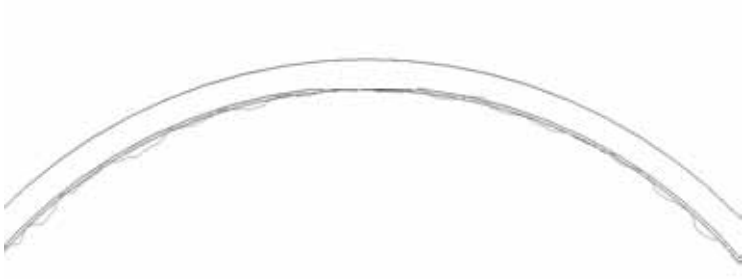


Fig. 6.2 Contact between Lens and its Radial Support (not to scale)

7. ASSEMBLY AND DISASSEMBLY

The assembly and disassembly procedures require a special tool like the one shown in Figure 7.1. The function of this tool is to hold and protect the lenses during this process. The basic assembly steps are simply explained next, and will be fully detailed in integration and maintenance specific manuals:

Figure 7.1 Assembly tool

- The radial support ring (RS) should be previously placed into the cell with the action help of the auxiliary tension screws (see R6).
- Place the cell as in Figure 7.1.
- Place the lens on the tool at the proper contact points (Figure 7.1).
- Then, raise the cell to assemble the lens. They should fit at least to g6-H7 (+40/-14 and -39 microns).
- Close the cell, mounting first the O-ring and then the separators. Preload to the required pressure with a torquimeter.
- Release the auxiliary tension screws following the Reference Manual.
- Finally, assemble the cell to the rest of the CB at the proper interfaces.

This assembly procedure can be followed for all the lenses, including doublets and singlets. The assembly should be performed at the specified temperature range (Reference Manual).

7.1 Machining Tolerances

The repeatability of the CB assembly depends directly of the machinate quality. This calls for the use of a high performance machining center. As a reference, Table 7.1 summarizes the tolerances of several different certified machines. All the CB components and the repeatability process can be achieved with these tolerances.

Table 7.1 Machining tolerances of the CIDESI Mexico Machining Center

CNC Machine	BRAND	MODEL	Dimmensions (mm)	Tolerancias (10^{-6} m)
Machining Center	HYUNDAI	SPT-V100	800 X 500 X 600	10
Milling Machine	HYUNDAI	HIT-20M	Ø 294 X 434	10
Lathe Machine	HYUNDAI	HIT-8	Ø 160 X 285	10

8. ERROR BUDGET

Table 8.1 shows the CB error budget, all the values are justified in the Mechanical Calculations Document.

Table 8.1 CB Error Budget

Lens Decentering	70.2 x 10^{-6} m
Lens Nominal Position	90 x 10^{-6} m
Lens Stress	3.3956 Mpa

9. LIST OF COMPONENTS

Table 9.1 shows the CB components. The total number of the CB components is around 50, this value does not include bolts, nuts and tools.

Table 9.1 CB components

B1		**B2**				
Cell 1	**UE**	**Cell 1**	**Cell 2**	**Cell 3**	**UPD**	**Shutter**
D1L1	Motor	D2L1	S1	D3L1	UPD	Shutter
D1L2	(2) Gear	D2L2	RSS1	D3L2	CUPD	
RSD1L1		RSD2L1	(3) MTRSS1	RSD3L1		
RSD1L2		RSD2L2	CS1	RSD3L2		
(3) MTRSD1L2		(3) MTRSD2L2	O-ringS1	(3) MTRSD3L2		
CD1		CD2	Sep1S1	CD3		
Sep1D1		Sep1D2	Sep2RS1	Sep1D3		
O-ringD1L2		O-ringD2L2		O-ringD3L1		
Sep2D1		Sep2D2		Sep2D3		
Sep3RD1		Sep3RD2		S2		
RodaSKF				SRS2		
CCD1				(3) MTRSS2		
				O-ringS2		
				Sep1S2		
				CCD3S2		

D: Doublet, L: Lens, S: Singlet, RS: Radial Support, MT: Mechanical Top,

C: Cell, Sep: Separator, CC: Cell Container.

10. VERIFICATION

Verification shall be accomplished by one or more of the following verification methods:

1. **Test (T):** When requirements have to be verified by measuring product performance and functionality. The analysis of data derived from test shall be considered an integral part of the test.
2. **Demonstration (D):** Can be considered as test where qualitative operational performance and requirements are demonstrated.
3. **Analysis (A):** When verification is achieved by performing theoretical o empirical evaluation by accepted techniques, the method shall be referred to as “Analysis”. An example is the modeling and computational simulation.
4. **Inspection (I):** When verification is achieved by visual determination of physical characteristics (such as construction features, hardware conformance to document drawings, etc) the method shall be referred to as “Inspection”.

The Verification Matrix (**VM**) shows the method proposed to accept each one of the critical requirements (see Table 10.1).

NV means No Verification is needed

Table 10.1 Verification Matrix (cont)

Code	Header	Ver. Method	Remarks
5.2.1	Overall Concept	I	
5.2.2	Barrel #1	I	
5.2.3	Barrel #2	I	
5.2.4	Focus Unit	I	
5.2.5	Barrel #1 and Barrel #2 disassembling	T	Optical performances included in 5.3 shall be measured before and after dismount and reassembling
5.3.1	Wavefron deformation	T	The optical performances shall be measured at 20 °C and 8.5 °C, before and after thermal cycling between 20 °C and –2 °C Lens S3 shall be mounted in front of the barrel, at a position defined by 5.5.3 and 5.6.1, to perform the optical tests
5.3.2	Effective focal length	T	
5.3.3	Back focal	T	
5.3.4	Camera Optics throughput	T	
5.4.1	Radial displacements	A	
5.4.2	Athermalization	A	
5.4.3	Lens stresses	A	Lens stresses shall be evaluated at 20 °C and –2 °C
5.4.4	Assembly repeatability	A	
5.4.5	Focus unit linear travel	T, D	The mechanism functionality shall be verified by test at 20 C and by demonstration at –2 C
5.4.6	Focusing time	T, D	
5.4.7	Focus unit translation repeatability	T, D	
5.4.8	Focus unit translation resolution	T, D	
5.5.2	Lenses optical aperture	T	Effective optical aperture shall be derived from measurements of the barrel geometry
5.5.3	Lenses nominal position	T	Real lenses position shall be measured only if the measured optical performances (5.3) are outside the

			specified tolerances

Code	Header	Ver. Method	Remarks
5.5.4	Baffle specification	T	
5.5.5	Ventilation holes	I	
5.5.6	Shutter physical envelope	T	According to A.2
5.5.7	Camera Barrel physical envelope	T	According to A.2
5.5.8	Camera barrel mass	T	
5.5.9	Camera barrel center of gravity	A	
5.6.1	Positional tolerances of lenses	T	Tolerances shall be obtained from values measured in 5.5.3
5.6.2	Positional tolerance of camera barrel	T	
5.6.3	Doublet roll	T	
5.7.3	Doublet couplant central thickness	T	
5.7.4	Doublet couplant bubbles	T	
5.8.3	Maximum heat dissipation	A	
5.9.1	Interface with the OSIRIS Support Structure	T	According to A.3
5.13.2	MTBF	A	
5.13.3	MTTR	A, D	It will be verified by demonstration only in the critical case

5.14.2	MPMNT	A	

Code	Header	Ver. Method	Remarks
5.15.1	**Environmental Conditions**		
	Temperature (nominal conditions): -2°C to +19°C	A, D	The performance fulfillment will be demonstrated by analysis in this temperature range. However, it will be demonstrated that there are no loss of performances after the equipment has been cycled 5 times between +19 °C and –2 °C at a minimum temperature variation of 4 °C/hour
	Temperature (limit of operation): -6°C to +30°C	A	
	Temperature (survival limit): -15°C to +35°C	A	
	Thermal variation at night	A	
	Relative humidity (nominal conditions): 2% to 87%	A, D	The performance fulfillment will be demonstrated by analysis in this humidity range. However, it will be demonstrated that there are not loss of performances after the equipment has been cycled 5 times between humidity limits
	Relative humidity (limit of operation): 90%	A	
	Relative humidity (survival limit): 0% to 100%	A	
	Atmospheric pressure (nominal conditions): 770 to 790 mbar	A	
5.15.2	Earthquake survival	NV	

APÉNDICE E

A continuación se muestra el Documento original de Cálculos Mecánicos elaborado para la Revisión de Diseño Preliminar del Barril para la Cámara del instrumento OSIRIS.

OSIRIS

TITLE

Mechanical Calculations
OSIRIS Camera Barrel

Code: IN/OS-CS/CBPD
Issue: 1.A
Date: 18/09/03
No. of pages: 38

Approval control

Prepared by	Alejandro Farah Simón Mechanical System Engineer	
Revised by	Jesús González Co-Principal Investigator Francisco Cobos UNAM Optical Engineer Carlos Tejada UNAM Optical Engineer	
Approved by	Beatriz Sánchez Project Manager Local	

Changes record

Issue	Date	Section	Page	Change description
	11-08-2003	9	24-26	The Error Budget for decentring has been actualized, including a description of each source of error.
	14-08-2003	5.1	18	The calculus for the Orings was included.
	02-09-2003	4.1	15-16	Changes of the RS materials in Table 4.1, also the simulations have been changed including critical cases.
	08-09-2003	4.2	16	RS displacements due gravity loads with new materials are included. The RS spring wide is 4 mm instead of 3 mm in some cases.
	17-09-2003	4.3	17	New simulations of the displacements of the auxiliary tension screws for RS D1L1.
	12-11-2003	4.1	15	The simulation for RSD2L2 of TIMETAL 6-2-4-2 was included.

Applicable documents

Nº	Document title	Code	Issue
A.1	Camera Unit Specification	DM/SR-OSI/143v.3	3.A
A.2			
A.3			

Reference documents

Nº	Document title	Code	Issue
R.1	OSIRIS Situation at Focal Stations	DR/IN-OS/000	2.A
R.2	OSIRIS General Layout	DR/IN-OS/001	2.A
R.3	Camera Lens Specification		1.A
R.4	Cryostat Window Specification	DM/SR-OSI/266v.1	1.A
R.5	Camera Barrel Preliminary Design		1.A

Configuration items

Code	Description

Related configuration items (only for ICD's)

Interface Code	Element 1	Element 2	Name

List of acronyms and abbreviations

B	Barrel
CB	Camera Barrel
CL	Cryostat Lens
CoG	Centre of Gravity
CU	Camera Unit
CIDESI	Centro de Ingeniería y Desarrollo para la Industria
CULCS	Camera Unit Local Coordinate System
D	Doublet
DU	Detector Unit
FEA	Finite Element Analysis
FU	Focus Unit
GTC	Gran Telescopio Canarias
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
IAC	Instituto de Astrofísica de Canarias
MPMNT	Mean Preventive Maintenance Night Time
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NA	Not Applicable
OA	Optical Aperture
OPT	OSIRIS Project Team
OSIRIS	Optical System for Imaging and low/intermediate Resolution Integrated Spectroscopy
ORM	Roque de Los Muchachos Observatory (at La Palma)
OSS	OSIRIS Support Structure
PDR	Preliminary Design Review
PTC	Passive Thermal Compensator
ROC	Radius of Curvature
RS	Radial Support
RT	Temperature of Reference (8.5 ^{o}C)
S	Singlet
SI	Shutter Interface
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined

CONTENTS

APPLICABLE DOCUMENTS 182

CONFIGURATION ITEMS 183

1. SUMMARY 188

2. INTRODUCTION 188

2.1 CAMERA BARREL GENERAL DESCRIPTION 188

3. DESIGN CRITERIA 189

4. RADIAL SUPPORTS 190

4.1 RESIDUAL THERMAL STRESS OF THE RS 191

4.2 RS DISPLACEMENT DUE TO GRAVITY LOAD 193

4.3 RS AND LENS ASSEMBLY 195

5. LENS AXIAL POSITION 195

5.1 THERMAL STRESS AND DISPLACEMENT 195

5.2 AXIAL PRELOAD APPLIED 197

6. FOCUSING UNIT 198

6.1 GEARS AND SCREW SYSTEM RESOLUTION 198

6.2 7PRELOADING SPRINGS 198

6.3 MOTOR SELECTION 198

7. PASSIVE THERMAL COMPENSATOR 199

7.1 PROBLEM DEFINITION 199

7.2 MATERIALS PROPERTIES 200

7.3 3D MODEL 200

7.4 PTC FEA SIMULATIONS 200

8. BARREL 202

8.1 DISPLACEMENTS DUE TO GRAVITY LOAD 202

9. ERROR BUDGET 202

9.1 LENS NOMINAL POSITION 202

9.2 POSITIONAL TOLERANCES OF LENSES 202

9.2.1 Decenter 202

9.3 LENS STRESS 203

ANNEX 1. DUPONT 204

ANNEX 2. EXTENSION SPRINGS 207

ANNEX 3. ENCODER 208

ANNEX 4. MOTOR 213

1. SUMMARY

This document summarizes several mechanical calculations relative to the preliminary design of the OSIRIS Camera Barrel (CB), in a more explicit way than in the document that presents the design concept (R.5). Analytical calculations and FEA simulations are used to quantify the behavior and performance of the different components in the barrel design.

2. INTRODUCTION

2.1 Camera Barrel General Description

The CB preliminary design is shown fully assembled in Figure 2.1. It is conceived as a modular design to provide easier assembly and disassembly. The basic concept considers four cell subassemblies and two interfaces. The barrel first stage contains the cell of the first camera doublet and the focusing unit (FU), and its hooked to the OSIRIS support structure through the shutter interface. A second barrel stage contains the rest three lens cells, an interface with the shutter and the support structure of OSIRIS, and the passive thermal compensator (PTC) system. Lens S3 is the cryostat window and, as the shutter, it is not included in the CB design. For more details see R.5.

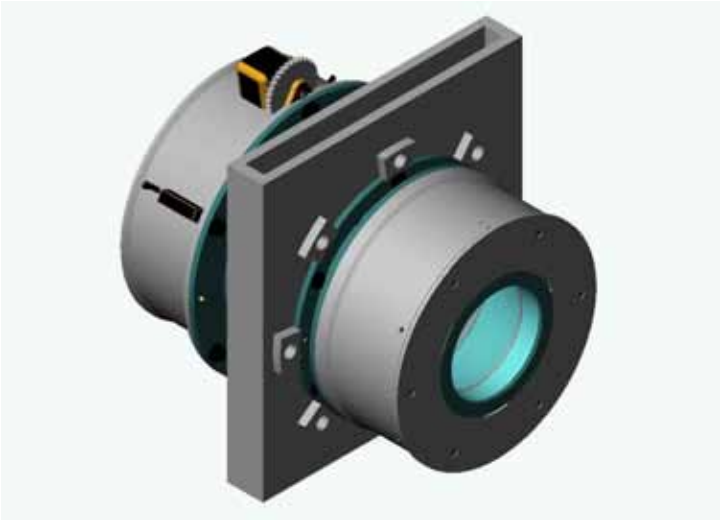


Figure 2.1. Fully assembled Camera Barrel (Preliminary design)

The lenses D1, D2, D3, S1 and S2 are contained each in their own cell. The access to each of these components could be done without the disassembly the entire CB. The CB assembly is done by bolts and nuts, the repeatability of these process is achieved by the use of dowel pins, see Figure 2.2 and 2.3.

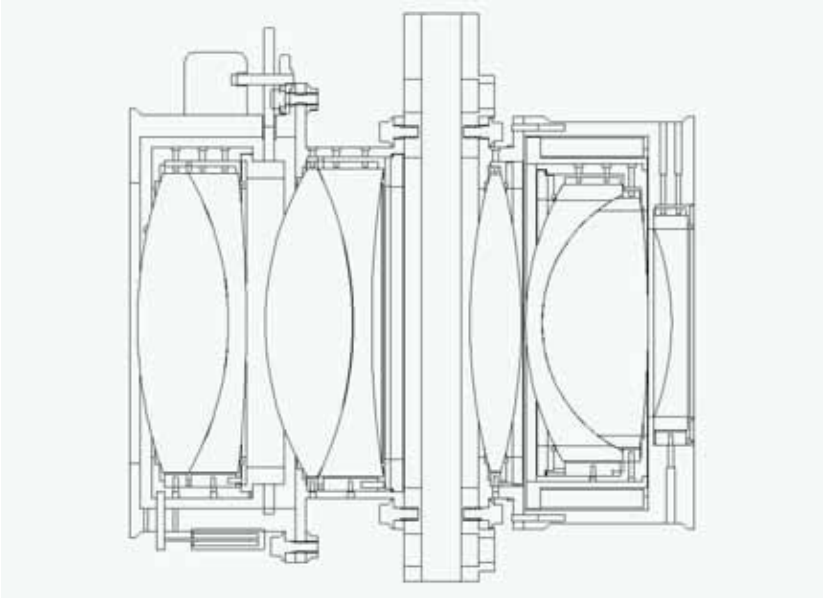


Figure 2.2. CB lateral view

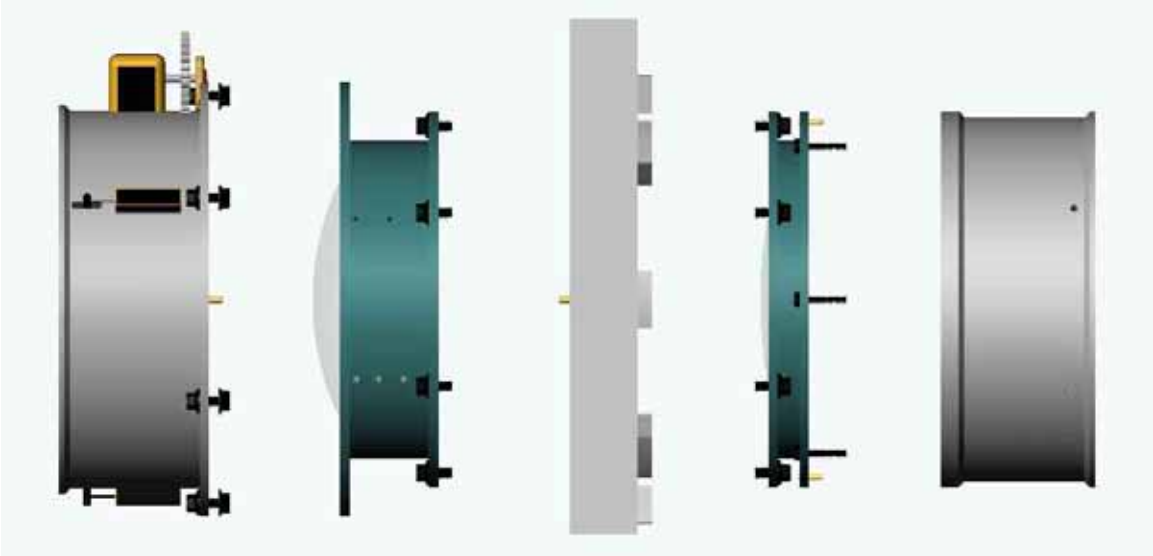


Figure 2.3. CB exploded view

3. DESIGN CRITERIA

GENERAL

- The operational (fulfilling requirements) temperature range is –6 to 30 °C.
- The design dimensions consider the machining temperature and the stress-free reference temperature (30°C).

LENS RADIAL SUPPORT (RS)

- For minimal stress, and to avoid birefringence, the CTEs of each lens and of its radial support ring (RS) have to be as similar as possible.
- The RS will be fixed to the cell with bolts.

CAMERA BARREL

- For assembling facility, cells diameters of D1L1 and D2L1 cells should be 200 micron shorter than for D1L2 and D2L2 respectively.
- The mechanical adjustment between the RS rings and their respective cells should be m6-H7 fit (hole 0 +40 µm and shaft +15 +40 µm).

4. RADIAL SUPPORTS

We studied a wide variety of lens radial supports throughout the conceptual design. The proposed models were analyzed by analytical formulations and by FEA. All the models were simulated using the same boundary and initial conditions. To find out the best model we used some parameters and indicators (R.5). The evaluation considered all main advantages and disadvantages of each configuration. The selected RS concept is shown in Figure 4.1. To minimize stresses, the contact area between the RS and the lens is tangential (Figure 4.2). The center of the lens does not move during thermal expansion/contractions given the axial symmetry of RS and cell designs. The surface finish proposed is possible to achieve by *CIDESI* manufacturing center for avoiding stress problems (for details see the RS manufacturing drawings).

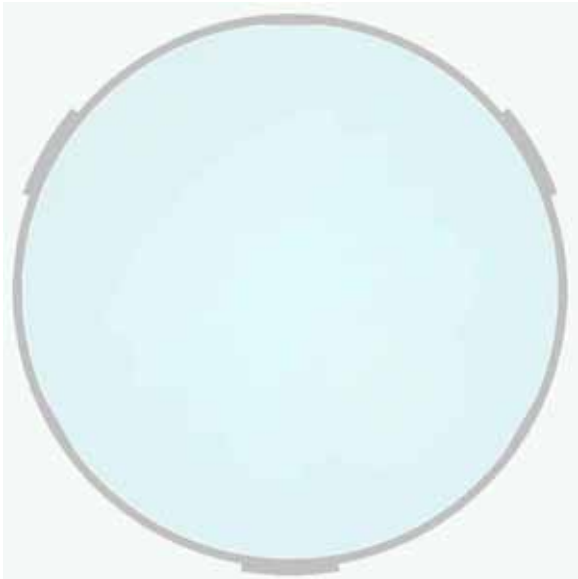


Figure 4.1 Radial Support ring for D2L1

(a) Tangential contact (b) Radial contact

Figure 4.2 Details of the RS and Lens contact area

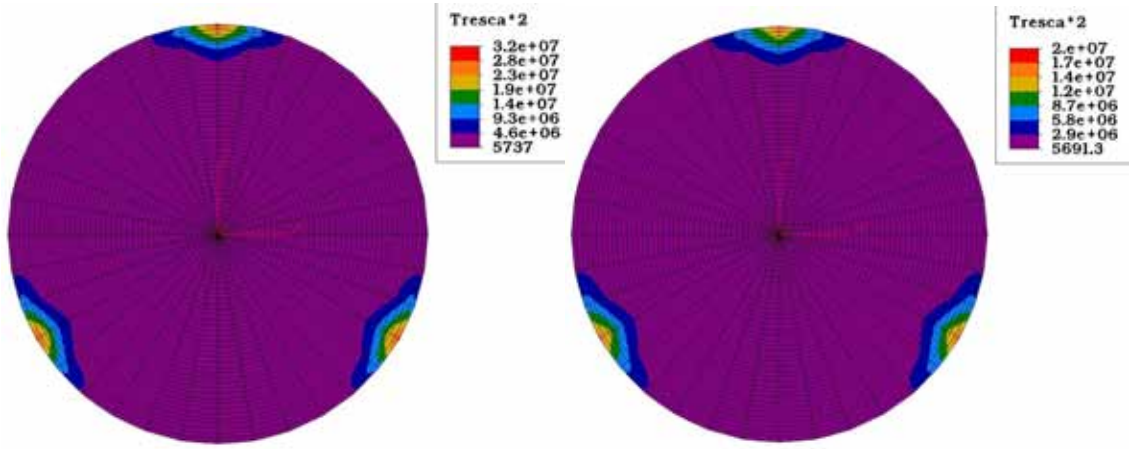
The mechanical properties of any material can be different from the nominal values reported by the supplier. If this happens, the stress in the lenses might vary. This variation has been studied and the conclusion is that if the properties variations are about 15% they can be tolerable. Table 4.1 shows the materials of each lens and a material proposal for its RS.

4.1 Residual Thermal Stress of the RS

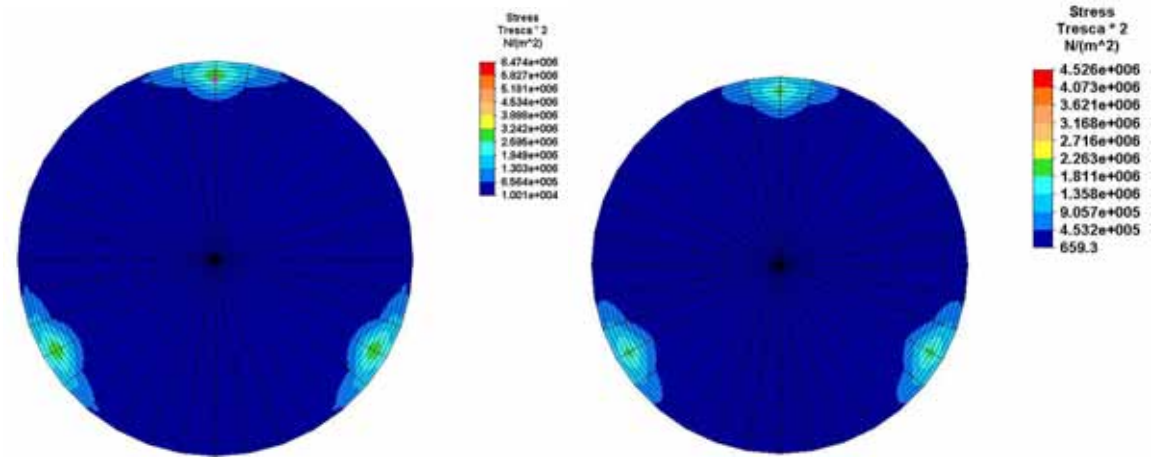
The case of the 2nd OSIRIS doublet is the most critical of all lenses; the Figure 4.1.1 shows the thermal stress under the nominal range temperature gradient of the OSIRIS. The maximum stress case on the lens is approximately 2.927 MPa, lower than the birefringence limit. We have to keep in mind that all this simulations are over estimated because the boundary conditions, so it includes a safety security factor.

In this typical case (D2L2), the thermal stress from an aluminum RS ring of is larger than a steel RS, given the higher TCE difference of Al relative to the lens glass. The more similar meal-lens TCE the lower are the resulting thermal stresses (see Design Criteria for RS). This is the case of the

CuMoCu material, the final material will be chosen during manufacturing stages (for RS material properties see Table 4.1), which can be also TIMETAL 6-2-4-2.



(a) RS of aluminum 6061 (4.6 MPa in OA) (b) RS of steel 4130 (2.9 MPa in OA)



(c) RS of CuMoCu (2.927 MPa in OA) (d) RS of TIMETAL 6-2-4-2 (1.469 MPa in OA)

Figure 4.1.1 D2L2 thermal stress due to its RS

Figure 4.1.3 shows the thermal stress simulation of D1L2 with an Aluminum 6061 Cell and a RS ring of THERMKON® 65M (Molybdenum Copper parts, see Table 4.1). The residual stress on the lens is also under specifications, but a stress contribution appears from the material difference between cell and RS ring.

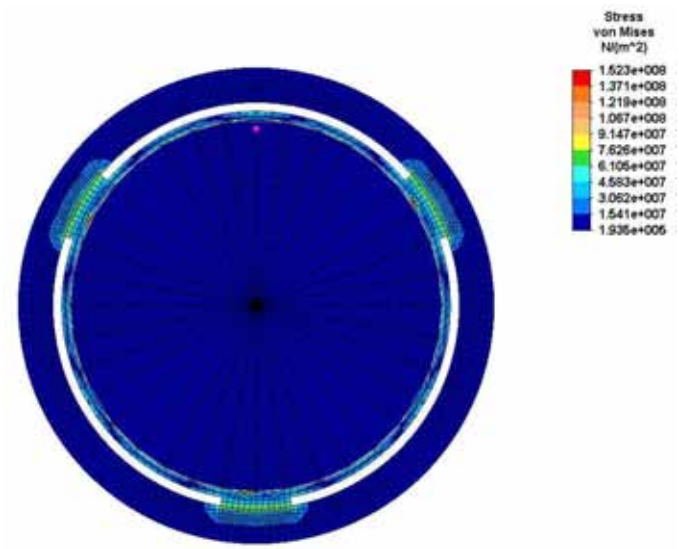


Figure 4.1.3 D1L2 Thermal stress (2.3648 MPa in OA)

The RS dimensions will be defined as it is described in the Preliminary Design Document.

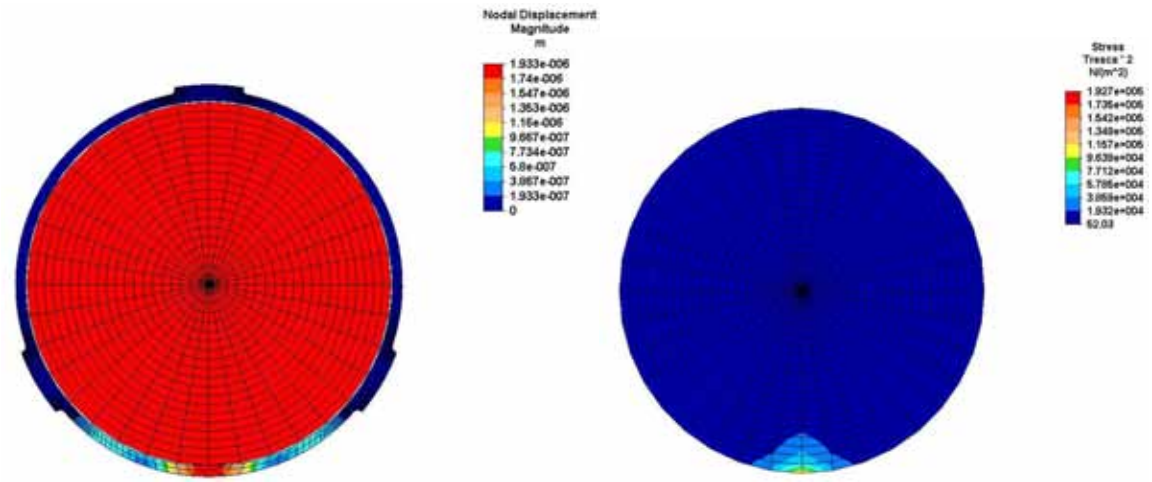
Table 4.1 Lens and RS materials

Lens	Material	CTE (10^{-6} C^{-1}) at RT	RS	Material	E (Gpa)	CTE (C^{-1}) at RT	CTEs ratio
D1 (L1)	Ohara S-FPL53	14.2	**RSD1L1**	AISI 330 Stainless Steel	200	14.4	0.99
D1 (L2)	Ohara BSM51Y	6.3	**RSD1L2**	Molybdenum Disilicide	242	6.5	0.97
D2 (L1)	CaF_2	18.9	**RSD2L1**	AISI 304N	206	18.9	1.00
D2 (L2)	Ohara S-BAL35Y	5.7	**RSD2L2**	CuMoCu 13/74/13	269	5.8	0.98
S1	Ohara S-FPL51Y	13.6	**RSS1**	AISI 330 SS	200	14.4	0.94
D3 (L1)	Ohara S-BAL15Y	7.6	**RSD3L1**	TIMETAL® 6-2-4-2	115	7.7	0.99
D3 (L2)	CaF_2	18.9	**RSD3L2**	AISI 304N	200	18.9	1.00
S2	Ohara PBL6Y	8.3	**RSS2**	TIMETAL® 551	110 - 120	8.5	0.98

4.2 RS Displacement due to Gravity Load

The RS displacement due to gravity load was analyzed in two cases. The first one is D1L1, which is the heaviest lens of the CB and the second one is D2L1, which is the lens with the shortest RS. The

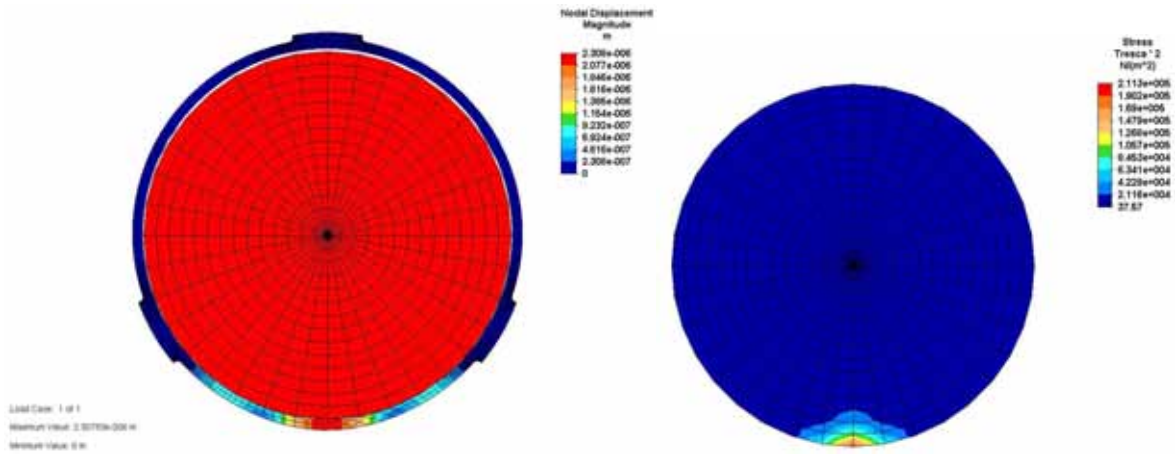
displacements are shown in Figures 4.2.1 and 4.2.2 and the maximum values are included in the Error Budget.



(a) (b)

Figure 4.2.1 (a) D1L1 gravity displacements (maximum 1.93 micrometer)

(b) D1L1 gravity stress (maximum 0.1927 MPa)



(a) (b)

Figure 4.2.2 (a) D2L1 gravity displacement (maximum 2.308 micrometer)

(b) D2L1 gravity stress (maximum 0.2113 MPa)

For obtaining these values it was necessary to do an optimization of the RS geometry of each lens. The final RS shape is shown in the manufacturing drawings.

4.3 RS and Lens Assembly

The assembly and disassembly process is detailed in the CB Preliminary Design Document. In this section the FEA results for the auxiliary tension screws are shown in Figure 4.3.1. The simulation is the RS for D1L1 with Stainless Steel (AISI 330) properties. The force applied has a value of 240 N and the results show a displacement around 40 µm in diameter (see Figure 4.3.1). This displacement is helpful for assembling the lens into the RS.

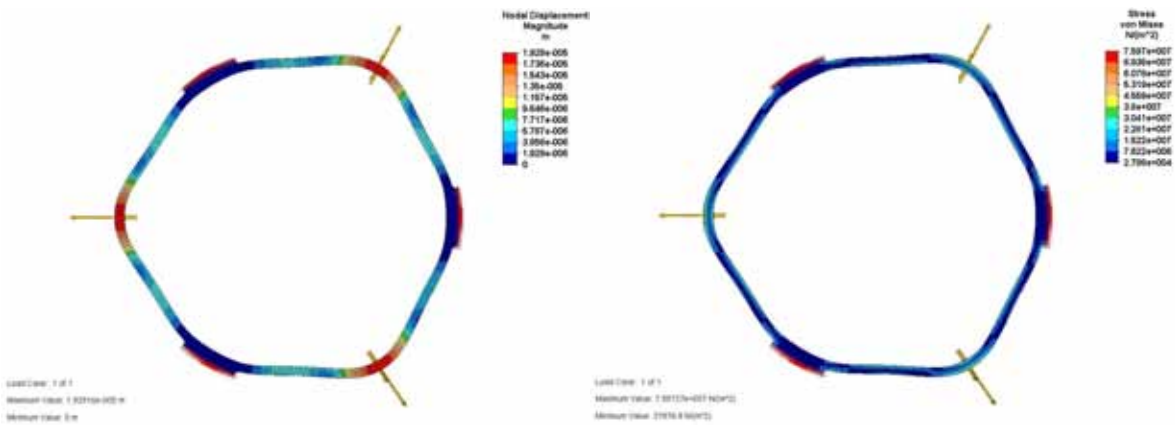


Figure 4.3.1 Displacements of the auxiliary tension screws for RS D1L1

5. LENS AXIAL POSITION

The axial position of each lens is defined with a Sharp Edge mechanical top. For design details see Preliminary Design Document.

5.1 Thermal Stress and Displacement

The Table 5.1.1 shows the axial expansion due to a temperature gradient of 36 ºC at the OA for each lens; it also includes the equivalent expansion of the cell (aluminum) and the difference between them. The doublet D3 has the most drastic displacement difference (20.7×10^{-6} m).

In order to release the stress induced by thermal expansions in the contact surfaces Orings are going to be used. The function of these elements is allowing the lens to expand freely. The recommended maximum compression for an Oring is about 30 %. This Preliminary Design uses an Oring diameter

of almost 0.005 m; it means a 0.002 compression possibility. The 20.7×10^{-6} m represents a 0.42 %, which is a non representative displacement value for stress concentration.

The Orings selection has been based on the Parkers Handbook (, the technical data for the critical case D1 are shown below:

Oring Diameter = 0.210 in (0.005334 m)

Maximum load for a deformation of 5% = 58.82 pound (261.7 N)

Equivalent Oring Strain = 0.210 in x 0.05 = 0.0105 in (0.0002667 m)

Material = Fluorosilicone (Shore A Hardener of 50)

The loading screw for the Oring resolution = 2.7 µm/º (with 2.65 N/°)

The conclusion of this analysis is the Oring can be used. For obtaining the appropriated preloading is necessary to calculate the number of degrees to turn the loading screw depending of the lens weight.

Table 5.1.1 Thermal expansion of the lenses and its cell

Lenses	OA (10^{-6} m)	Cell OA (10-6 m)	Difference (10-6 m)
D1L1+D1L2	13.2	31.2	18.0
D2L1+D2L3	26.5	34.1	7.6
S1	4.3	7.5	3.2
D3L1+D3L3	26.8	47.5	20.7
S2	5.3	15.1	9.8

The next FEA simulation was made to be compared with the analytical displacements (see Figure 5.1.1).

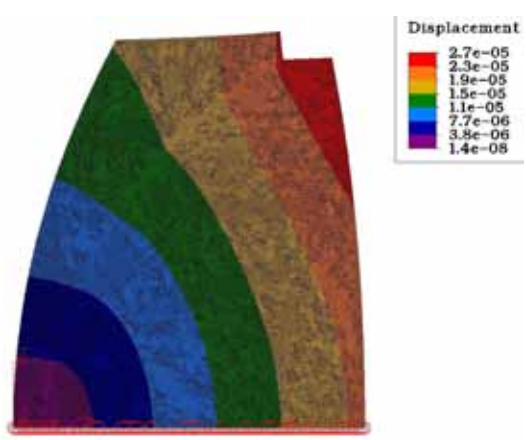
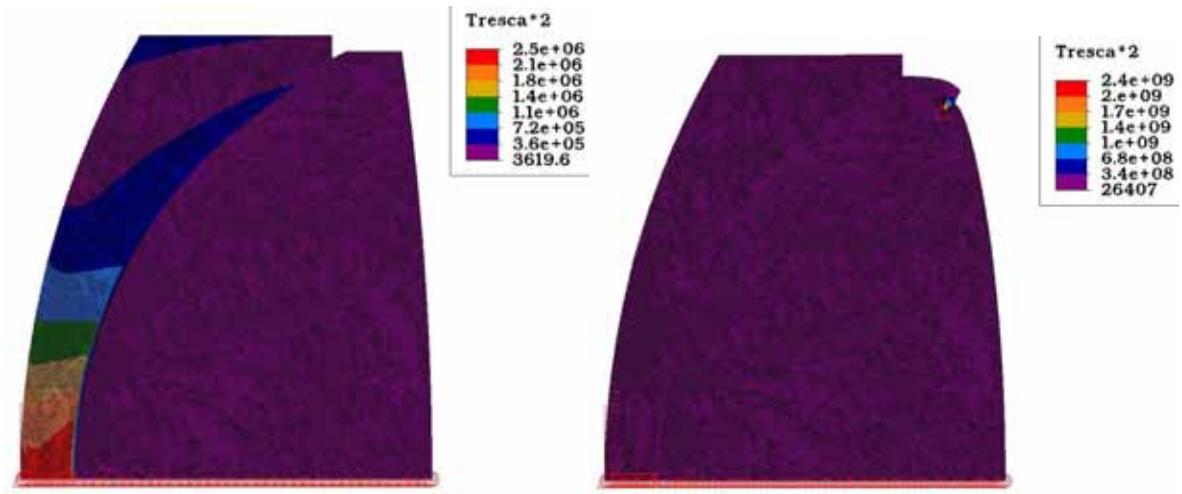


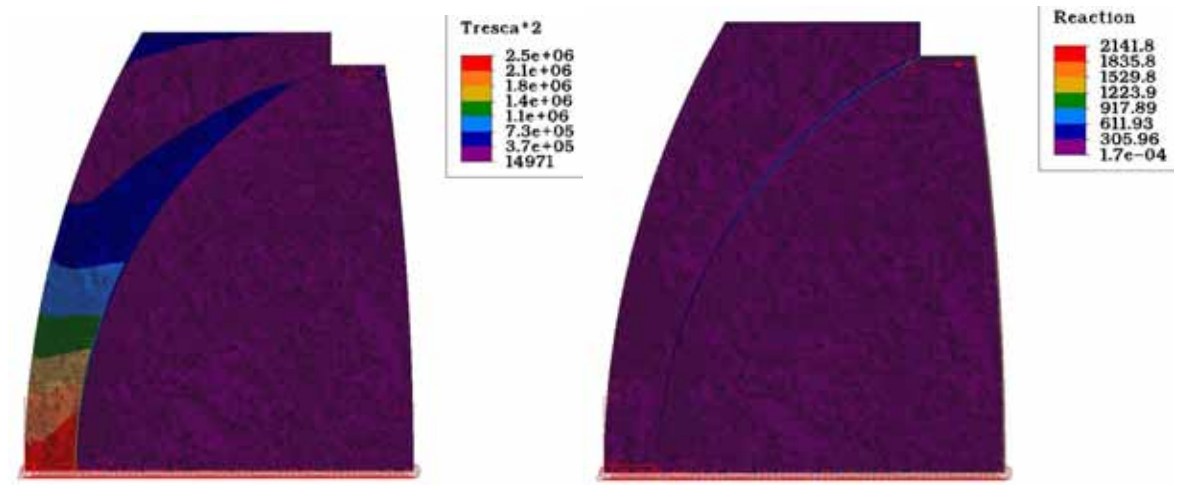
Figure 5.1.1 Thermal expansion of D3

5.2 Axial Preload Applied

The thermal stress obtained from FEA can be used to calculate the maximum admissible preload. For example, the D3 case was analyzed as seen in Figure 5.2.1. The simulation is an axisymmetric with a specific set of boundary conditions to restrict it. The Figure 5.2.1 shows: (a) the thermal stress of D3 with a free expansion; (b) the same as (a) but including a restricted node at the OA limit, the stress is much bigger; (c) in this case we used a boundary element with a stiffness of 1.8 (MN/m), the stress is around 3.3 MPa and (d) the reaction force which is helpful to calculate the preload to be applied. With this methodology we can calculate a specific torque for each lens to avoid birefringence. The final preload values will be calculated in the Critical Design stage. The applied preload and thermal stress will satisfy specifications for stress limit (see Error Budget).



(a) (b)



(c) (1.6716 MPa in OA) (d)

Figure 5.2.1 D3 thermal stress and preload reaction

6. FOCUSING UNIT

The concept is included in the Preliminary Design Document.

6.1 Gears and Screw System Resolution

The dimensional data of the gears and of the screw system are:

GEARS

First gear diameter = 0.204 m Teeth = 165

Second gear diameter = 0.04277 m Teeth = 33

Gears relation = 5

SCREW SYSTEM

Screw thread per cm = 5

Screw longitude = 0.01 m

STEPPER MOTOR

Steps = 200

RESOLUTION

$$0.01m/5 = 0.002m \rightarrow 0.002m/165 = 1.2121\times10^{-5} \rightarrow 1.2121\times10^{-5}/(200/33) = 2\times10^{-6}m$$

The gears are helicoidal and the screw is a square thread one, both to minimize backlash.

6.2 7Preloading Springs

The screw system backlash is avoided with preloading springs (see Annex 2). The three springs work symmetrically relative to the optical axes, see Preliminary Design Document. The value of the preload is three times the total weight of the components to move; the maximum value is shown in Table 6.3.1. The moments induced by the gravity load are dismissed because the use of a radial bearing.

6.3 Motor Selection

To select the stepper motor (see Annex 3 and 4), we calculate the necessary torque to move all the components. The estimated total weight to be moved and the force induced by the preloading springs are shown in Table 6.3.1.

Table 6.3.1 FU weight and sprigs preload

Components	14
Weight (kg)	3.94
Springs preload (kg)	23.64
Total	27.58

Table 6.3.2 shows the results for the stepper motor requirements. The calculations include the components weight, the preloading springs force and the screw friction force (friction coefficient = 0.09), see Gears and Screw System Resolution.

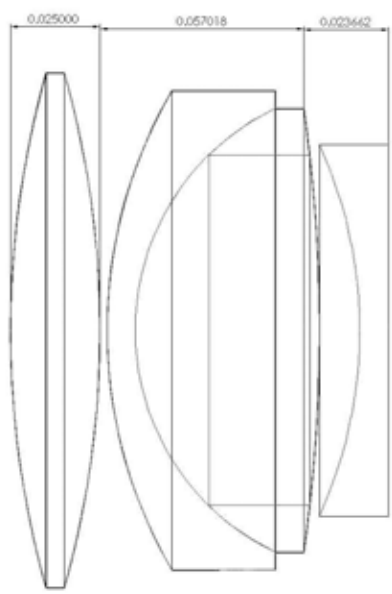
Table 6.3.1 Stepper motor requirements

Steps	200
Torque (N*cm)	41.8
rpm	300

7. PASSIVE THERMAL COMPENSATOR

7.1 Problem Definition

The PTC requirements are specified in A.1. The Figure 7.1.1 shows the possible dimensions for the unit. The PTC is positioned at the right of the D3 because the thermal expansion should act from right to left when the gradient of temperature increases (see Figure 7.1.1).



LEFT (D3) *RIGHT*

Figure 7.1.1 Possible dimensions for the PTC

7.2 Materials Properties

The CTE of the PTC material should be as higher as possible (a minimum of $160x10^{-6}$ 1/C) in order to achieve the requirements and a tensile modulus as well as to provide stiffness. The possible materials to fabricate it are shown in Table 7.2.1. The best material option is the DuPont Zytel Copolymer (see Annex 1).

Table 7.2.1 Possible PTC materials

	CTE (10^{-6}/ºC)	E (GPa)
Nylon 612, Glass Fiber Filler	14 - 220	3.4 - 16
DuPont Zytel HTNFR51G35L	180	13.1
Nylon 12	50 - 160	0.4 - 2.9
ABS/PVC Alloy	80 - 166	1.8 - 3
Polyethylene U.H.M.W.	130 - 200	0.2 - 1.2
NylaMid Semitron Extruded	167	0.2

7.3 3D Model

The PTC was submitted to a conceptual design analysis and the best concept is shown in Figure 7.3.1. The PTC contains D3 and its stiffness is good enough to satisfy specifications with the DuPont Zytel material.

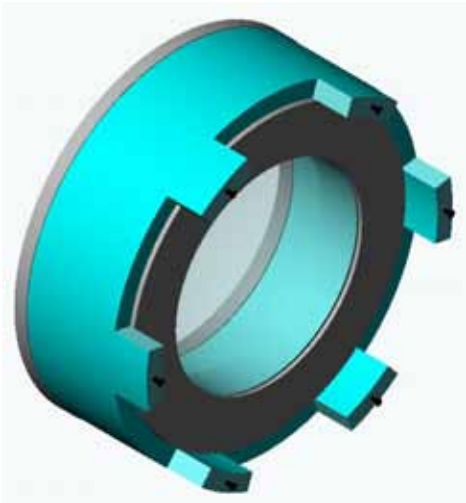


Figure 7.3.1 PTC

7.4 PTC FEA Simulations

The final axial longitude of the PTC is 0.07 m and the material CTE expected is about 180 micrometer per Celsius degree (to be adjusted in the Critical Design). The thermal expansion per

Celsius degree is 12.6 micrometer and for a total gradient of 36 °C is 6480 micrometer (see Figure 7.4.1).

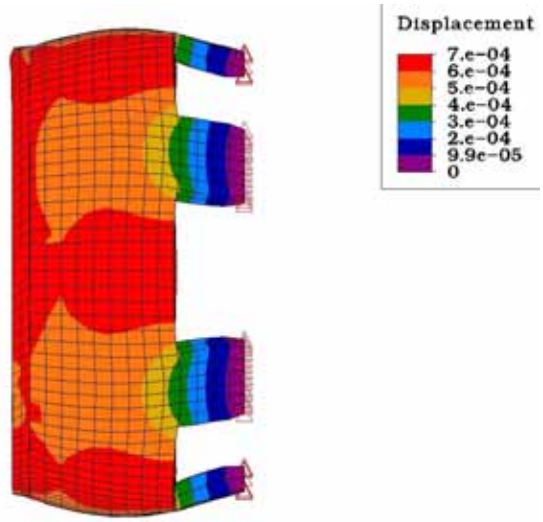
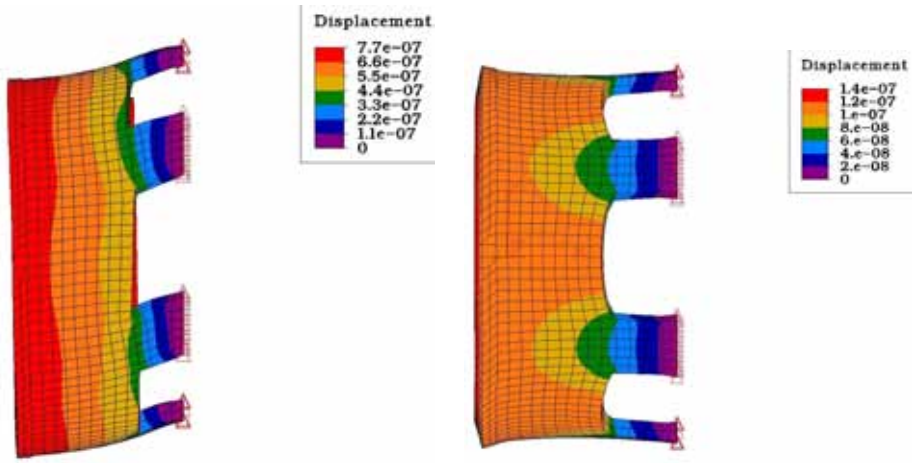


Figure 7.4.1 Thermal expansion (temperature gradient = 36°C)

The gravity load displacements of the PTC include the weight of D3 and its cell (9.579 kg) with a gravity of 5G (see Figure 7.4.2).



(a) (b)

Figure 7.4.2 PTC Displacements due gravity loads: a) gravity perpendicular to the optical axes; b) gravity in axial direction

This result has a security factor of 5. This is because the possible variations in the mechanical properties of the material for the PTC.

8. BARREL

8.1 Displacements due to Gravity Load

The total displacement of each lens is the sum of the RS and the barrel displacements. In this section the critical barrel displacements are shown. The boundary conditions are considered by simulating the interface between the CB and the SI. The total CB weight for the simulation is 67 kg. The gravity vector is perpendicular to the optical axes (see Figure 8.1.1).

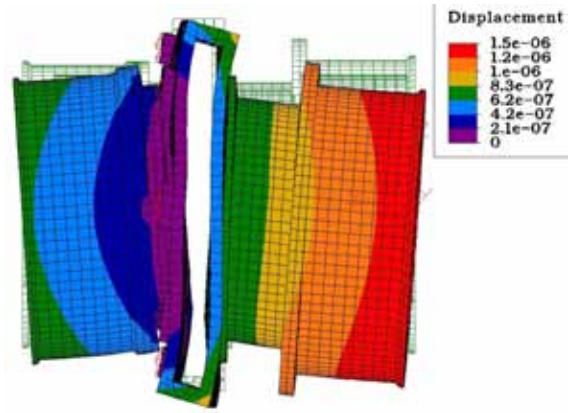


Figure 8.1.1 CB Displacements due gravity load

9. ERROR BUDGET

9.1 Lens Nominal Position

The lens nominal position is achieved with mechanical tops and the reference surfaces. The machining tolerances for the machinate process of each component are 10 micrometer. The critical case is for D1, which has a maximum of 90 micrometer of vertex position error because of the six reference surfaces and 3 mechanical tops to define its position. This critical case implies that the machining tolerances are increasing the CB at the same direction.

9.2 Positional tolerances of lenses

9.2.1 Decenter

The error budget for decentring has been evaluated for each cell independently; this is because the errors between them will be correct during the assembly process. A set of pins will be used to guaranty the repeatability (see R5). The Table 9.2.1.1 shows the error budget for all lenses, including doublets and singlets, in its cell. The following values have been estimated following the manufacturing tolerances and metrology capabilities of CIDESI:

Table 9.2.1.1 Error Budget for decentring for each lens

	Value	Source	Comments
Lens	(10^{-6} m)		
Lens Roughness	20	Optics	See Note 1
Lens Radii lens measurement error	5	Metrology	See Note 2
Radial Support			
Run Out	10	CNC (CIDESI)	See Note 3
Manufacturing error	10	CNC (CIDESI)	See Note 4
Displacement due gravity loads		FEA	See Note 5
Cell			
Run Out	10	CNC (CIDESI)	See Note 6
Manufacturing error	10	CNC (CIDESI)	See Note 7
TOTAL for singlets	28.72		
TOTAL for doublets (See Note 8)	40.62		

Notes

1.- Variation of the lens radii. This value has been estimated from the optical tolerancing for manufacturing.
2.- Due the accuracy of the measure of the lens radii. The value will be estimated statistically with a coordinates machine.
3.- Due the tolerance of manufacturing of the RS in the three zones in contact with the lens (cilindricity).
4.- Due the variation of the RS radii which hold the lens.
5.- Displacements of the RS due graviy loads.
6.- Due the tolerance of manufacturing of the cell in the three zones in contact with the RS (cilindricity).
7.- Due the variation of the cell radii.
8.- The double error value of singletes is considered.

9.3 Lens Stress

In this section we are including the critical cases for all the lenses.

Radial direction:

a) D2L2 thermal stress induced by its RS in OA: 2.9 MPa

(See section 4.1 Figure 4.1.2 b)

b) D2L1 stress due gravity load: 0.05567 MPa

(See section 4.2 Figure 4.2.2 b)

Total: 2.95567 MPa

Axial direction:

c) D3 stress due preloading: 1.6716 MPa

(It includes thermal expansion; see section 5.2 Figure 5.2.1 c)

The total stress: $= \sqrt{2.95567^2 + 1.6716^2}$ MPa = 3.3956 MPa

The conclusion of this stress analysis is that the total stress for all the lenses in under specifications.

ANNEX 1. DUPONT

DuPont Zytel® HTNFR51G35L NC010 Nylon Copolymer, 45% Glass Reinforced, Dry As Molded

Subcategory: Filled/Reinforced Thermoplastic; Nylon; Nylon, Other; Polymer; Thermoplastic

Close Analogs:

Data provided by the manufacturer. MatWeb has an entry for this nylon at 50% RH

Key Words: Polyamide Copolymer

Material Notes:

High-temperature, semi-crystalline, glass-reinforced nylon copolymer
Applications: Bobbins, connectors, motors, housings, encapsulations.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.65 g/cc	0.0596 lb/in³	ASTM D792
Water Absorption	0.25 %	0.25 %	24 hr. ASTM D570
Linear Mold Shrinkage	0.002 cm/cm	0.002 in/in	Flow Direction
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.007 cm/cm	0.007 in/in	3.2 mm; ASTM D955
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.007 cm/cm	0.007 in/in	

Mechanical Properties

Hardness, Rockwell M	108	108	ASTM D785
Hardness, Rockwell R	124	124	ASTM D785

Tensile Strength, Ultimate	165 MPa	23900 psi	ASTM D638
Elongation at Break	1.3 %	1.3 %	ASTM D638
Tensile Modulus	13.1 GPa	1900 ksi	ASTM D638
Flexural Modulus	12.4 GPa	1800 ksi	ASTM D790
Flexural Yield Strength	228 MPa	33100 psi	ASTM D790
Compressive Yield Strength	293 MPa	42500 psi	ASTM D695
Taber Abrasion, mg/1000 Cycles	57	57	CS-17 Wheel
Shear Strength	64 MPa	9280 psi	ASTM D732
Izod Impact, Notched	0.85 J/cm	1.59 ft-lb/in	ASTM D256
Izod Impact, Unnotched	5.4 J/cm	10.1 ft-lb/in	ASTM D256
Compressive Modulus	3.58 GPa	519 ksi	ASTM D695

Electrical Properties

Electrical Resistivity	1e+016 ohm-cm	1e+016 ohm-cm	ASTM D257
Surface Resistance	1e+013 ohm	1e+013 ohm	ASTM D257
Dielectric Constant	4	4	at 1 MHz; ASTM D150.
Dielectric Constant, Low Frequency	4.3	4.3	at 1 kHz; ASTM D150
Dielectric Strength	24.5 kV/mm	622 kV/in	1.6 mm (63 mils); ASTM D149
Dissipation Factor	0.01	0.01	at 1 MHz; ASTM D150
Dissipation Factor, Low Frequency	0.01	0.01	at 1 kHz; ASTM D150

Arc Resistance	80 sec	80 sec	
Comparative Tracking Index	375 V	375 V	

Thermal Properties

CTE, linear 20°C	180 µm/m-°C	100 µin/in-°F	Flow Direction.
CTE, linear 20°C Transverse to Flow	50 µm/m-°C	27.8 µin/in-°F	
CTE, linear 100°C	180 µm/m-°C	100 µin/in-°F	Flow Direction
CTE, linear 100°C	60 µm/m-°C	33.3 µin/in-°F	Cross-Flow
Melting Point	300 °C	572 °F	ASTM D3418
Maximum Service Temperature, Air	260 °C	500 °F	Deflection temperature at 1.8 MPa
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	260 °C	500 °F	ASTM D648
Glass Temperature	125 °C	257 °F	DMA Method
Flammability, UL94	V-0	V-0	V-0 0.81 mm; UL94
Oxygen Index	44 %	44 %	ASTM D2863

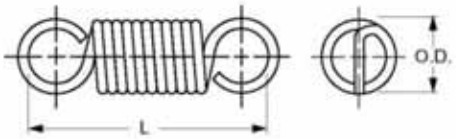
Printer friendly version

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistant format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. Click here to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

ANNEX 2. EXTENSION SPRINGS

S INCH **Extension Springs**

■ FULL TWIST LOOPS ■ UNIFORM BODY DIAMETER



MATERIAL: 302 Stainless Steel, Spring Temper

Catalog Number	O.D.	Wire Dia.	L Free Length	L_1 Ext. Length	Load at L_1	Spring Rate lb./in.
S78ESY-024026075	.240	.026	0.75	1.29	2.75	4.7
S78ESY-024026100			1.00	1.97		2.5
S78ESY-024026112			1.12	2.31		2.1
S78ESY-024026125			1.25	2.64		1.8
S78ESY-024029075		.029	0.75	1.17	3.75	8.2
S78ESY-024029125			1.25	2.32		3.2
S78ESY-024031075		.031	0.75	1.11	4.41	11.5
S78ESY-024031125			1.25	2.14		4.4
S78ESY-024031150			1.50	2.64		3.5
S78ESY-024034075		.034	0.75	1.04	5.83	18.4
S78ESY-024034125			1.25	1.96		7.4
S78ESY-036031100	.360	.031	1.00	2.02	3.07	2.7
S78ESY-036031150			1.50	3.81		1.2
S78ESY-036037100		.037	1.00	1.68	4.91	6.6
S78ESY-036037150			1.50	3.06		2.8
S78ESY-036045125		.045	1.25	1.93	8.50	11.3
S78ESY-036045200			2.00	3.49		5.2
S78ESY-036055125		.055	1.25	1.66	14.66	32.2
S78ESY-036055200			2.00	2.87		15.2
S78ESY-050037125	.500	.037	1.25	2.65	3.67	2.3
S78ESY-050037200			2.00	6.12		0.8
S78ESY-050055250		.055	2.50	4.82	10.91	4.2
S78ESY-065055300	.650		3.00	7.83	8.41	1.6
S78ESY-075063400	.750	.063	4.00	10.84	10.66	1.4
S78ESY-085075250	.850	.075	2.50	4.71	15.33	6.2
S78ESY-100075500	1.000		5.00	15.26	13.08	1.2

NOTE: Supplied right- or left-hand wound at our option.

10–81

ANNEX 3. ENCODER

RSF Electronics

2880 Gold Tailings Court • Rancho Cordova, CA 95670
Tel: (916) 852-6660 • Fax: (916) 852-6664 • Web: www.rsf.net

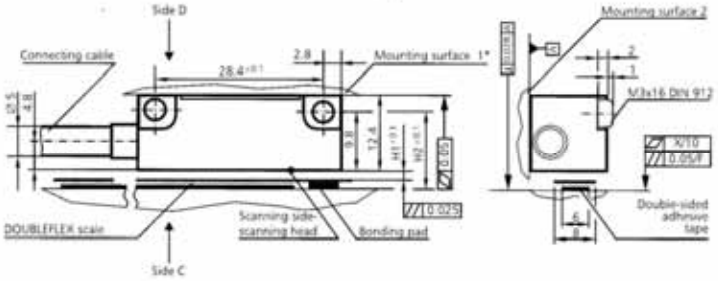
NUMERIK JENA

LIE-5 Incremental Linear Encoder Specification

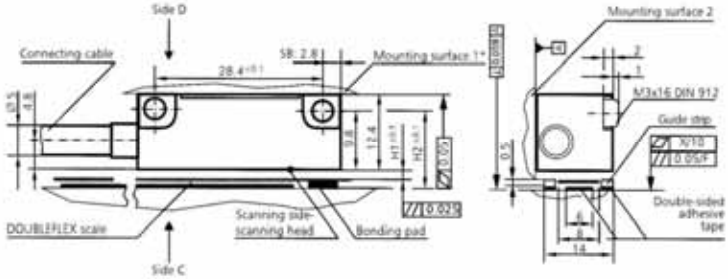
Mechanical	Recommended measuring increments	0.1 µm; 0.2 µm; 0.5 µm; 1 µm; 5 µm
	Dimensions of scanning head	34 x 13.2 x 12.4 mm³
	Max. traversing speed as function of electronic system	480 m/min without interpolator for GP = 20 µm 2400 m/min without interpolator for GP = 100 µm 120 m/min with 50x interpolator for GP = 20 µm 600 m/min with 50x interpolator for GP = 100 µm
	Measuring length	up to 30 m
	Scale	
	Material	Stainless Steel
	Grating Period (GP)	20 µm; 100 µm
	Reference marks	At regular distances of 50 mm; Distance coded at 1000 GP; Center of the measuring distance
	Linear expansion coefficient	DOUBLEFLEX scale: 10.5 • 10⁻⁶/°C SINGLEFLEX scale: as function of material of the seating surface
	Accuracy classes	DOUBLEFLEX scale: ± 1 µm; ± 2 µm; ± 3 µm; ± 5 µm/m SINGLEFLEX scale: ± 5 µm/m others on request
Electrical	Scanning frequency	Max. 400 kHz for counting signal Max. 50 kHz for reference signal
	Output interfaces	
	Voltage output	1 V_{ss} with integrated line driver
	Current output	11 μA_{ss}
	Square-wave output	RS 422 A optionally with internal signal interpolation 5x, 10x, 25x, 50x
	Supply voltage	5 VDC ± 20%
	Power consumption	
	Voltage output	< 50 mA
	Current output	< 25 mA
	Square-wave output (RS 422 A)	< 100 mA
	Cable lengths	
	Cable permanently fixed to scanning head	up to 3 m with plug
	Permissible cable lengths (with extension cable)	max. 18 m with current output 11 μA_{ss} max. 100 m with voltage output 1 V_{ss} max. 100 m with square-wave output RS 422 A
Environmental	Operating temperatures	0°C to +55°C
	Storage temperatures	-20°C to +70°C
	Vibration (50 Hz to 2000 Hz)	≤ 200 ms^{-2}
	Shock (11 ms)	≤ 400 ms^{-2}

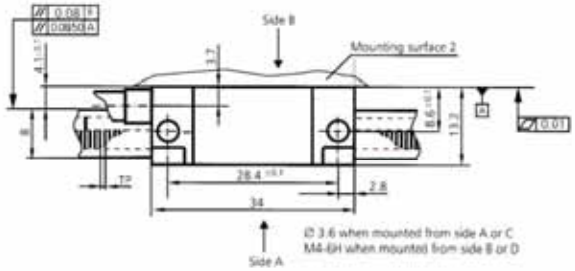
Installation

Installation outline without guide strips



Installation outline with guide strips





Grating period	DOUBLEFLEX scale		SINGLEFLEX scale	
	H1	H2	H1	H2
20 µm	0.6 mm	11.1 mm	0.6 mm	10.9 mm
100 µm	0.8 mm	11.3 mm	0.8 mm	11.1 mm

* The mounting surface 1 must be vertically adjustable to ensure that the distance parameter H1 ± 0.1 and the parallelism 0.025 can be achieved.

Accuracy classes	X
± 1 µm	0.003
± 2 µm	0.006
± 3 µm	0.009
± 5 µm	0.009

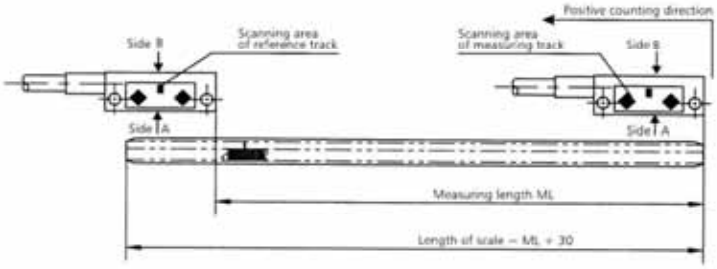
* All units of measurement are in millimeters

Installation

Note

- Use double-sided adhesive tape to attach the steel scale to the base or glue it directly on the base.
- Guide strips are usable for orientation and mounting of the scales.

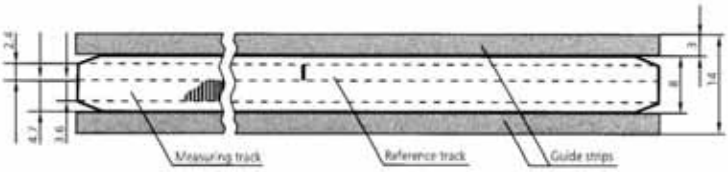
Definition of measuring length



DOUBLEFLEX scale

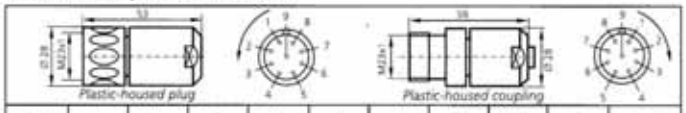
SINGLEFLEX scale

DOUBLEFLEX scale
SINGLEFLEX scale
with guide strips



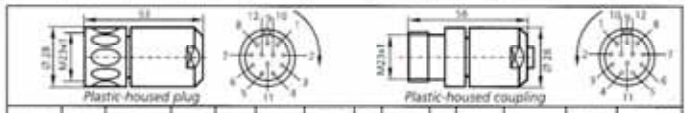
* All units of measurement are in millimeters

Connectors, Pin Definition



Current Interface
$11\mu A_{PP}$
9 Pin Plug
9 Pin Coupling

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Housing
Signal	I_{1+}	I_{1-}	5 V	0 V	I_{2+}	I_{2-}	I_{0+}	I_{0-}	–	External shield
Color	green	yellow	brown	white	blue	red	grey	pink	–	–



Voltage Interface
$1V_{PP}$
12 Pin Plug
12 Pin Coupling

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Housing
Signal	U_{2-}	Sensor 5 V	U_{0+}	U_{0-}	U_{1+}	U_{1-}	–	U_{2+}	–	0 V	Sensor 0 V	5 V	Shield
Color	red	brown	grey	pink	green	yellow	–	blue	–	white	white	brown	–

Current Interface
$11\mu A_{PP}$
9 Pin Sub-D-Plug

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Housing
Signal	I_{1-}	0 V	I_{2-}	–	I_{0-}	I_{1+}	5 V	I_{2+}	I_{0+}	External shield
Color	yellow	white	red	–	pink	green	brown	blue	grey	–

Current Interface
$11\mu A_{PP}$
15 Pin Sub-D-Plug

PIN	1	2	3	4	5	6	7	10	12	Housing
Signal	5 V	0 V	I_{1+}	I_{1-}	–	I_{2+}	I_{2-}	I_{0+}	I_{0-}	External shield
Color	brown	white	green	yellow	–	blue	red	grey	pink	–

Square Wave Interface
RS 422 A
12 Pin Plug
12 Pin Coupling

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Housing
Signal	$\overline{Z}_{2-}$	Sensor 5 V	R_{1+}	$\overline{R}_{1-}$	Z_{1+}	$\overline{Z}_{1-}$	NAS	Z_{2+}	Screen	0 V	Sensor 0 V	5 V	Shield
Color	red	brown	grey	pink	green	yellow	violet	blue	–	white	white	brown	–

* All units of measurement are in millimeters

RSF Electronics

2880 Gold Tailings Court • Rancho Cordova, CA 95670
Tel: (916) 852-6660 • Fax: (916) 852-6664 • Web: www.rsf.net

NUMERIK JENA

Scanning head

Designation example: LIE 5 1 P B X K F

Scanning head

Model type

L	Length-measuring system
I	Incremental
E	Exposed

Installation conditions

1	Mounted from side A or C	Thru Hole
2	Mounted from side B or D	M4 Thread

Grating period GP

P	20 µm
R	100 µm

Output signals

B	Sinusoidal signal 11 μA_{pp} with current out
C	Sinusoidal signal 1 V_{pp} with voltage out
K	Square-wave signal RS 422 A without interpolation
L	Square-wave signal RS 422 A with interpolation 5x
M	Square-wave signal RS 422 A with interpolation 10x
I	Square-wave signal RS 422 A with interpolation 25x
N	Square-wave signal RS 422 A with interpolation 50x

X	Distinguishing mark for clock frequency of counter on request

Connectors on cable

A	no connector
D	9pin; D-Sub; Pin; straight
E	9pin; D-Sub; Pin; 45° *
F	9pin; plug; round; Pin; metal
G	12pin; plug; round; Pin; metal
H	12pin; plug; round; Pin; plastic-housed
I	9pin; plug; round; Pin; plastic-housed
K	12pin; coupling; Pin; plastic-housed*
M	Assembly base with flange socket *
O	15pin; D-Sub; Pin; straight
R	15pin; D-Sub; Pin; 45° *
T	12pin; coupling; Pin; metal *
S	Customized plug on request *

*) Non-standard, extra cost

Cable fixed to scanning head

F	1 m
G	2 m
K	3 m
O	other length

O Cable length specified on XX.X m as additional information; max. cable length 3 m

Designation example: MV 5 0 – 1 1 B P 00770

Scale

Material

5	Steel scale

Design type

0	DOUBLEFLEX, standard
1	SINGLEFLEX, standard
2	DOUBLEFLEX, with guide strip
3	SINGLEFLEX, with guide strip

Accuracy classes

1	± 1 µm
2	± 2 µm
3	± 3 µm
4	± 5 µm

Note: Singleflex available only in ± 5 µm

Bonding pad positions

0	None
1	Front end

Note: Applies to Doubleflex only, otherwise enter 1

E: Specified in xxxxx mm, starting from front end

Measuring length (ML) [mm]

Grating period GP

P	20 µm
R	100 µm

Position of reference mark

0	None
B	Center of measuring length
C	35 mm from front of measuring length*
D	35 mm from front and 35 mm from back of measuring length*
E	Customized version**
F	Distance coded at 1000 • GP
N	At 50 mm spacings starting at center of measuring length

*) Non-standard, extra cost
**) Set-up charges, extra cost

ANNEX 4. MOTOR

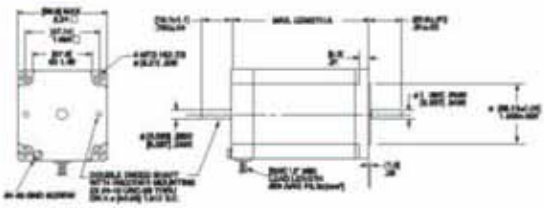
S T E P P E R S Y S T E M S

PACIFIC SCIENTIFIC T-SERIES NEMA 23 HIGH TORQUE MOTORS

Features	Benefits
With holding torques to 380 oz-in. (366 lb-in), the T Series provide the highest torques per frame size in the industry— more than 3 and 5 phase designs.	Optimized magnetics provide maximum performance in small envelope, reducing space required for the motor.
Improved torque linearity (above rated current) provides high peak torque capability (duty cycle dependent, contact factory)	Acceleration boost to move loads even faster. Provides more torque for intermittent duty applications.
High torque at moderate speeds	Cost effective alternative to servo motors
Low detent torque harmonic	Provides smoother microstepping performance
Rugged "housingless" square frame	Efficient use of volume for optimal magnetic circuit
Two phase design	Compatible with most drivers, smoother microstepping, and lower input power required vs. three phase for same torque
Optional encoder mounting provisions	Optimizes control scheme
Optional terminal box construction	Enclosed connections for more demanding environments
Wide selection of shaft configurations, terminations, and windings	Standard and custom configurations for cost effective system integration

LEADWIRE HOOKUP MODELS

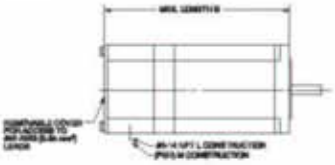
[mm] in



Leaded Motor Model	Max Length A mm	in
T24	41.8	1.64
T21	56.1	2.21
T22	77.7	3.06
T23	101.1	4.06

TERMINAL BOX CONSTRUCTION

[mm] in



Leaded Motor Model	Max Length B mm	in
T21	86.6	3.41
T22	108.2	4.26
T23	133.6	5.26

MOTIONEERING® CD-ROM

For more detailed product and selection information, see the **MOTIONEERING** CD-ROM inside the back cover of this catalog or visit our website at www.DanaherMotion.com.

www.DanaherMotion.com • 815-226-7777

80

S T E P P E R S Y S T E M S

PACIFIC SCIENTIFIC T-SERIES NEMA 23 HIGH TORQUE MOTORS

RATINGS AND CHARACTERISTICS SEE SYSTEM RECOMMENDATIONS AND DATA ON PAGES 80-89

Typical Lexmotion Motor Model Number	Connection① 4 Lead	Connection① 6 Lead	Holding Torque② (2 phases on) oz-in (N-m) ±10%	Rated Current/Phase③ (amp DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Phase Inductance④ (mH) Typical	Detent Torque oz-in (N-m)	Thermal Resistance⑤ (°C/watt)	Rotor Inertia oz-in-s² (kgm² x 10⁻⁶)	Net Weight kg (lb)
T SERIES - 1/2 ROTOR STACK										
T2HBRHC-LXM-RG-00	•		14 (0.5)	4.3	0.19	0.63				
T2HBRHJ-LXM-RG-00	•		14 (0.5)	4	0.28	1				
T2HBRLH-LXM-RG-00	•		14 (0.5)	2.7	0.64	2.5	2 (0.0141)	6.74	0.00154 (0.0136)	0.5 (1.0)
T2HBRLJ-LXM-RG-00	•		14 (0.5)	1.1	3.6	16				
T SERIES - 1 ROTOR STACK										
T2MBRHC-LXM-RG-00	•		98 (1.25)	5.4	0.21	1.1				
T2MBRHJ-LXM-RG-00	•		98 (1.25)	4.1	0.33	1.8				
T2MBRLH-LXM-RG-00	•		98 (1.25)	2.7	0.95	4.6	3 (0.021)	4.64	0.006 (0.0285)	0.7 (1.6)
T2MBRLJ-LXM-RG-00	•		98 (1.25)	1.4	3.0	16				
T2MBRLL-LXM-RG-00	•		98 (1.25)	1.1	4.9	30				
T SERIES - 2 ROTOR STACK										
T2NBRHC-LXM-RG-00	•		280 (1.98)	5.5	0.20	0.85				
T2NBRHJ-LXM-RG-00	•		280 (1.98)	4.1	0.49	2.3				
T2NBRLH-LXM-RG-00	•		280 (1.98)	3.1	0.75	3.4	6 (0.0424)	3.69	0.0086 (0.0480)	1.1 (2.3)
T2NBRLJ-LXM-RG-00	•		280 (1.98)	2.1	1.3	7.1				
T2NBRLL-LXM-RG-00	•		280 (1.98)	1.1	2.9	17				
T SERIES - 3 ROTOR STACK										
T2NBRHC-LXM-RG-00	•		300 (2.60)	6.0	0.20	1.0				
T2NBRHJ-LXM-RG-00	•		300 (2.60)	3.9	0.64	2.9				
T2NBRLH-LXM-RG-00	•		300 (2.60)	3.0	1.0	6.2	7 (0.0494)	3.04	0.0086 (0.0472)	1.5 (3.3)
T2NBRLJ-LXM-RG-00	•		300 (2.60)	1.9	2.9	17				
T2NBRLL-LXM-RG-00	•		300 (2.60)	1.1	4.1	24				

All ratings typical and at 25°C unless otherwise noted.
① Refer to Selection Guide for more information.
② With rated current applied.
③ Windings at 100°C and motor is still air at 40°C (without heat sink). Operation of these motors above rated current may cause demagnetization. Contact factory.
④ Small signal inductance as measured with impedance bridge at 1 kHz, 1 amp.
⑤ Thermal resistance measured with motor hanging in still air (unmounted).

www.DanaherMotion.com • 815-226-2222

81

S T E P P E R S Y S T E M S

PACIFIC SCIENTIFIC T-SERIES NEMA 23 STEPPER SYSTEMS

The performance information shown in the torque/speed curves that follow show the T series of NEMA 23 step motors with windings, connections and current levels selected for maximum performance with the drives shown on this page. For additional assistance in sizing or selecting the stepper system appropriate for your application, contact Danaher Motion Customer Support at 815-226-2222.

PACIFIC SCIENTIFIC T-SERIES NEMA 23 STEPPER SYSTEMS

6210/6215 Microstepping Drives SEE PAGE 74
- 24-40 VDC input
- Step/direction input or oscillator models
- Current selectable from 1 to 3.5 amps peak
- Microstepping - 4 step sizes

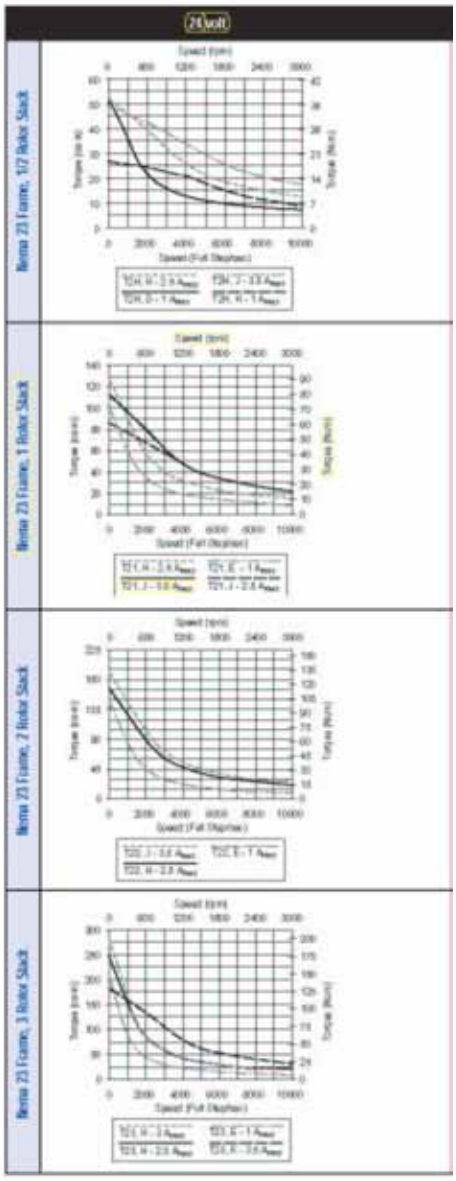
6410/6415 Microstepping Drives SEE PAGE 72
- 24-75 VDC input
- Step/direction input or oscillator models
- Current selectable from 0.625 to 7.1 amps peak
- Selectable step sizes, binary or decimal, full to 1/250 or 1/256

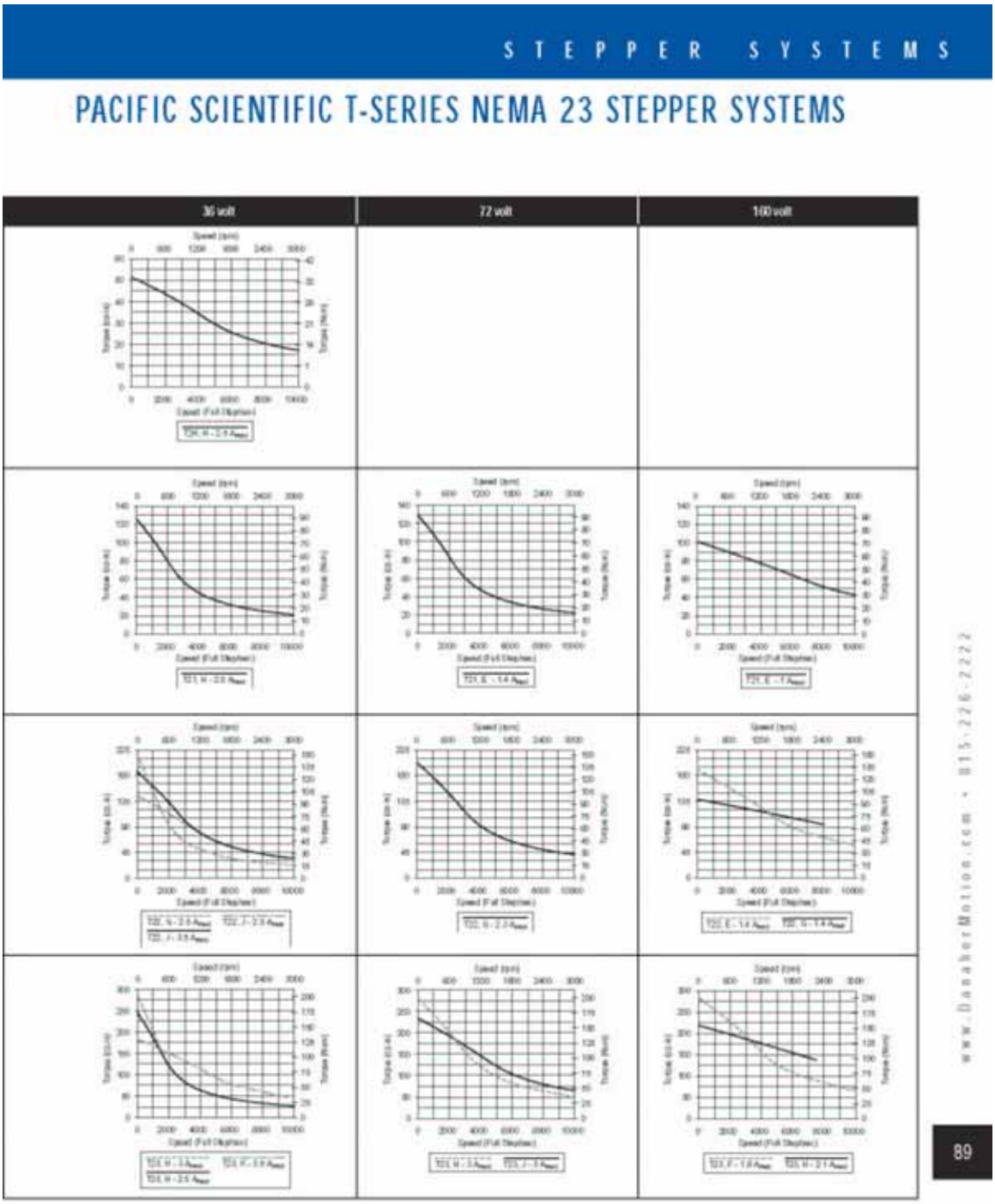
Impulse Microstepping Drives SEE PAGE 75
- 90-120 VAC input, 160 VDC bus
- Step/direction input
- Programmable inputs/outputs
- Current selectable from 0.75 to 4.0 amps
- Microstepping 200 to 100,000, selectable in increments of 200

NextStep® Microstepping Drives SEE PAGE 76
- 90-120 VAC input, 160 VDC bus
- Step/direction input
- Current selectable from 0 to 7.9 amps
- 5,000 steps/rev to 50,000 steps/rev microstepping

SMARTSTEP Microstepping Drives SEE PAGE 77
- 90-120 VAC input, 160 VDC bus
- Programmable indexing
- Current selectable from 0 to 7.9 amps
- 36,000 steps/rev microstepping

www.DanaherMotion.com • 815-226-2222




STEPPER SYSTEMS
PACIFIC SCIENTIFIC T-SERIES NEMA 23 STEPPER SYSTEMS
36 volt
72 volt
100 volt
www.DanaherMotion.com • 815.226.7272
89

APÉNDICE F

OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

Manufacturer and suppliers identification

Acronym	Name	Adress	Telephone	Fax	www and Email
CIDESI	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	Playa Pie de la Cuesta Av. 702 Desarrollo San Pablo. Zip 76130 Santiago de Querétaro, Qro., México	01 (442) 211 98 00 01 (442) 220 64 26	01 (442) 211 98 37	www.cidesi.com
SKF	SKF	Aut. México-Puebla No. 1103, Km. 12 Col. Zona Industrial Nte. C.P. 72270, Puebla, Pue. México	+52-222-229 49 00	+52-222-229 49 53	www.skf.com.mx leonardoramirez@skf.co
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México	Instituto de Astronomía Ciudad Universitaria, UNAM CP. 04510, México DF	+52-55-5622 3907	+52-55-5616 0653	www.astrosocu.unam.mx farah@astrosocu.unam.m
Fisba	Fisba Optik	Rorschacherstrasse 268 CH-9016 St.Gallen Schweiz	+41 (0) 71 282 3131	+41 (0) 71 282 3130	www.fisba.ch

NOTE: For understanding the drawing number follow the next instrucions in the same order

0 Fabricated by CIDESI or UNAM
1 Buy it from a company
0 Mechanical component
9 Optical component

Example

IN-OS-CA-112-3103 (Oring for S2)

General assemblies and sub-assemblies

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-111-0	OSIRIS Camera Barrel	DR/IN-OS-CA-111-0 (a,b y c)	NA	Camera Barrel	NA	UNAM/CIDESI
IN-OS-CA-111-1	Barrel 1 Cell 1 (B1C1)	DR/IN-OS-CA-111-1 (Electronic)	NA	B1C1	NA	UNAM/CIDESI
IN-OS-CA-112-1	Barrel 2 Cell 1 (B2C1)	DR/IN-OS-CA-112-1	NA	B2C1	NA	UNAM/CIDESI
IN-OS-CA-112-2	Barrel 2 Cell 2 (B2C2)	DR/IN-OS-CA-112-2	NA	B2C2	NA	UNAM/CIDESI
IN-OS-CA-112-3	Barrel 2 Cell 3 (B2C3)	DR/IN-OS-CA-112-3	NA	B2C3	NA	UNAM/CIDESI
IN-OS-CA-113-0	Focus Unit (FU)	DR/IN-OS-CA-111-Focus	NA	FU	NA	UNAM/CIDESI

OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

Components of B1C1

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-111-1091	Doublet 1 Lens 1 (D1L1)		1	D1L1	Ohara S-FPL53	UNAM
IN-OS-CA-111-1001	Radial Support of D1L1	DR/IN-OS-CA-111-1001	1	RSD1L1	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-111-1092	Doublet 1 Lens 2 (D1L2)		1	D1L2	Ohara BSM51-Y	UNAM
IN-OS-CA-111-1002	Radial Support of D1L2	DR/IN-OS-CA-111-1002	1	RSD1L2	TIMETAL® 6-2-4-2	CIDESI
IN-OS-CA-111-1003	Cell of D1	DR/IN-OS-CA-111-1003	1	CD1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-111-1004	Separator 1 D1	DR/IN-OS-CA-111-1004	1	SEP1D1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-111-1005	Separator 2 D1	DR/IN-OS-CA-111-1005	1	SEP2D1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-111-1006	Separator 3 D1	DR/IN-OS-CA-111-1006	1	SEP3D1	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-111-1107	Oring for D1 (Parker 356)		1	OringD1	Nitrilo (Shore A H70)	Parker
IN-OS-CA-111-1008	Container of the Cell of D1	DR/IN-OS-CA-111-1008 (-AUX)	1	CCD1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-111-1009	Buje largo	DR/IN-OS-CA-111-1009	3	Buje largo	Nylatron GSMBlue	UNAM

Mechanical Hardware

	ISO 4162_M6X1 b1 16SIMPB1C1		5	ISO 4162_M6X1 b1 16SIMPB1C1		
	ISO 4161_M6X1_SIMPB1C1		5	ISO 4161_M6X1_SIMPB1C1		
	ISO 4762_M1~6 X 0~35_8_SIMP		6	ISO 4762_M1~6 X 0~35_8_SIMP		
	ISO 4762_M2 X 0~4_4_SIMP		4	ISO 4762_M2 X 0~4_4_SIMP		
	SW3dPub-BUTTON_HEAD_CAP ...		12	SW3dPub-BUTTON_HEAD_CAP...		

Components of B2C1

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-112-1091	Doublet 2 Lens 1 (D2L1)		1	D2L1	CaF2	UNAM
IN-OS-CA-112-1001	Radial Support of D2L1	DR/IN-OS-CA-112-1001	1	RSD2L1	AISI 304N	CIDESI
IN-OS-CA-112-1092	Doublet 2 Lens 2 (D2L2)		1	D2L2	Ohara S-BAL35Y	UNAM
IN-OS-CA-112-1002	Radial Support of D2L2	DR/IN-OS-CA-112-1002	1	RSD2L2	TIMETAL® 6-2-4-2	CIDESI
IN-OS-CA-112-1003	Cell of D2	DR/IN-OS-CA-112-1003	1	CD2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-1004	Separator 1 D2	DR/IN-OS-CA-112-1004	1	SEP1D2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-1005	Separator 2 D2	DR/IN-OS-CA-112-1005	1	SEP2D2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-1006	Separator 3 D2	DR/IN-OS-CA-112-1006	1	SEP3D2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-1007	Oring for D2 (Parker 253)		1	OringD2	Nitrilo (Shore A H70)	Parker
IN-OS-CA-112-1008	Reference CD2	DR/IN-OS-CA-112-1008	2	Reference CD2	AISI 4140	UNAM
IN-OS-CA-112-1009	Laina bisel	DR/IN-OS-CA-112-1009	1	Laina bisel	Papel Negro	UNAM

Mechanical Hardware

	ISO 4762_M2 X 0~4_16_SIMP		9			
	ISO 4032_M2 X 0~4_SIMP		9			
	ISO 4762_M1~6 X 0~35_6_SIMP		6			
	ISO 4762_M6 X 1_10_SIMP		6			

OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

Components of B2C2

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-112-2001	Shutter	DR/IN-OS-CA-112-2001	1	SHUTTER	AISI 4140	CIDESI
IN-OS-CA-112-2091	Singlet 1			S1	Ohara BSM51-Y	Fisba
IN-OS-CA-112-2002	Radial Support of S1	DR/IN-OS-CA-112-2002	1	RSS1	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-112-2003	Cell of S1	DR/IN-OS-CA-112-2003	1	CS1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-2004	Separator 1 S1	DR/IN-OS-CA-112-2004	1	SEP1S1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-2005	Separator 2 S1	DR/IN-OS-CA-112-2005	1	SEP2S1	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-2105	Oring for S1 (Parker 356)		1	OringS1	Nitrilo (Shore A H70)	Parker
IN-OS-CA-112-2006	Reference CS1	DR/IN-OS-CA-112-2006	2	Reference CS1	AISI 4140	UNAM
IN-OS-CA-112-2007	Laina S1	DR/IN-OS-CA-112-2007	1	Laina S1	Papel Negro	UNAM

Mechanical Hardware

ISO 4162_M6 X 1 b1_12_SIMPB2C2	6	
ISO 4014 AS_M4 X 0~7 b1_25_SIMPB2C2	6	

Components of B2C3

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-112-3091	Singlet 2		1	S2	Ohara PBL6Y	UNAM
IN-OS-CA-112-3001	Radial Support of S2	DR/IN-OS-CA-112-3001	1	RSS2	TIMETAL® 6-2-4-2	CIDESI
IN-OS-CA-112-3002	Cell of S2	DR/IN-OS-CA-112-3002	1	CS2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-3103	Oring for S2 (Parker 045)		1	OringS2	Nitrilo (Shore A H70)	Parker
IN-OS-CA-112-3004	Separator 1 S2	DR/IN-OS-CA-112-3004	1	SEP1S2	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-3092	Doublete 3 Lens 1 (D3L1)		1	D3L1	Ohara S-BAL15Y	UNAM
IN-OS-CA-112-3005	Radial Support of D3L1	DR/IN-OS-CA-112-3005	1	RSD3L1	TIMETAL® 6-2-4-2	CIDESI
IN-OS-CA-112-3093	Doublete 3 Lens 2 (D3L2)		1	D3L2	CaF2	UNAM
IN-OS-CA-112-3006	Radial Support of D3L2	DR/IN-OS-CA-112-3006	1	RSD3L2	AISI 304N	CIDESI
IN-OS-CA-112-3007	Cell of D3	DR/IN-OS-CA-112-3007	1	CD3	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-3108	Oring for D3 (Parker 353)		1	OringD3	Nitrilo (Shore A H70)	Parker
IN-OS-CA-112-3009	Separator 1 D3	DR/IN-OS-CA-112-3009	1	SEP1D3	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-3010	Separator 2 D3	DR/IN-OS-CA-112-3010	1	SEP2D3	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-112-4001	Passive Thermal Compensator (PTC)	DR/IN-OS-CA-112-4001	1	PTC	Nylamid GSMBlueBlue	CIDESI
IN-OS-CA-112-4002	Laina de ajuste para pruebas	DR/IN-OS-CA-112-4002	1	Laina de ajuste pruebas	Acero Inox SS	CIDESI
IN-OS-CA-112-4003	Bafle de ajuste optomecánico	DR/IN-OS-CA-112-4003	6	Laina S2	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-112-3011	Separador entre CS2 y CS3	DR/IN-OS-CA-112-3011	1	Acople	AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-112-3012	Celda auxiliar CS3	DR/IN-OS-CA-112-3012	1	CS3	AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-112-3013	Celda auxiliar CS3 (Tapa roscada)	DR/IN-OS-CA-112-3013	1	Tapa roscada	AISI 330 SS	UNAM

Mechanical Hardware

ISO 7051 OV-H TAP-F_2~2 x 0~8_16_SIMP-UPD	12	
ISO 4762_M1~6 X 0~35_8_SIMP	3	
ISO 4762_M1~6 X 0~35_12_SIMP	3	
ISO 4762_M1~6 X 0~35_16_SIMP	3	
ISO 4762_M2 X 0~4_16_SIMP	6	
ISO 4032_M2 X 0~4_SIMP	6	
ISO 4762_M2 X 0~4_20_SIMP	3	
ISO 4032_M2 X 0~4_SIMP	3	
ISO 4032_M2 X 0~4_SIMP	6	
ISO 4762_M2 X 0~4_xx_SIMP (S2).sldprt	6	

OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

Components of FU

Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
IN-OS-CA-113-0001	Tool for preloading	DR/IN-OS-CA-113-0001	3	NA	SS 18-8	McMaster
IN-OS-CA-113-0002	Springs	DR/IN-OS-CA-113-0002	3	Resorte - Resorte codificador	Acero para resorte	UNAM
IN-OS-CA-113-0003	Spring container	DR/IN-OS-CA-113-0003	2	SC	AluMold 1	UNAM
IN-OS-CA-113-0003b	Spring container and codificator support	DR/IN-OS-CA-113-0003b	1	SC	AluMold 1	UNAM
IN-OS-CA-113-0101	SKF Rail (LLMHS 7 TA)		1	SKF Rail	NA	SKF
IN-OS-CA-113-0102	SKF Guide (LLMHS 7 TA)		1	SKF Guide	NA	SKF
IN-OS-CA-113-0004	Gear 1	DR/IN-OS-CA-113-0004	1	GEAR 1	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-113-0005	Gear 2	DR/IN-OS-CA-113-0005	1	GEAR 2	AISI 330 SS	CIDESI
IN-OS-CA-113-0103	Stepper motor (Parker TBI)		1		NA	Parker
IN-OS-CA-113-0104	Needle Bearing (AXK 160200)		1		NA	SKF
IN-OS-CA-113-0105	Bearing support (AS 160200)		1		NA	SKF
IN-OS-CA-113-0006	Bearing container	DR/IN-OS-CA-113-0006	1	BearingC	AluMold 1	CIDESI
IN-OS-CA-113-0106	Encoder (LIE 5)				NA	
IN-OS-CA-113-0007	Switches conector plate	DR/IN-OS-CA-113-0007	1	Tableta	AluMold 1	UNAM
IN-OS-CA-113-0008	Tope palpador	DR/IN-OS-CA-113-0008	1	Tope palpador	AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-113-0009	Container home switch	DR/IN-OS-CA-113-0009	1	Caja micro switch home	AluMold 1	UNAM
IN-OS-CA-113-0010	Container microswitches	DR/IN-OS-CA-113-0010	1	Caja switchs	AluMold 1	UNAM
IN-OS-CA-113-0011	Base soporte switch (Pieza A)	DR/IN-OS-CA-113-0011	1		AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-113-0012	Base soporte switch (Pieza G)	DR/IN-OS-CA-113-0011	1		AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-113-0013	Topes final de carrera (Pieza E)	DR/IN-OS-CA-113-0011	2		AISI 330 SS	UNAM
IN-OS-CA-113-0014	Tolva de protección para el piñón y el motor	DR/IN-OS-CA-113-0014	1	Tolva motor	AluMold 1	UNAM

Mechanical and Electronic Hardware

	SW3dPub-BUTTON_HEAD_CAP_SCREW-8-36 UNF-31232		2			
IN-OS-CA-113-0011	Switch DH3CC4AA		2	Switch DH3CC4AA		Cherry
IN-OS-CA-113-0012	Mountain switch 101-1295		1	Mountain switch 101-1205		Mountain Switch

OSIRIS Camera Barrel: Herramientas de Ensamble, Protección y Transporte

Camera Barrel Mounting

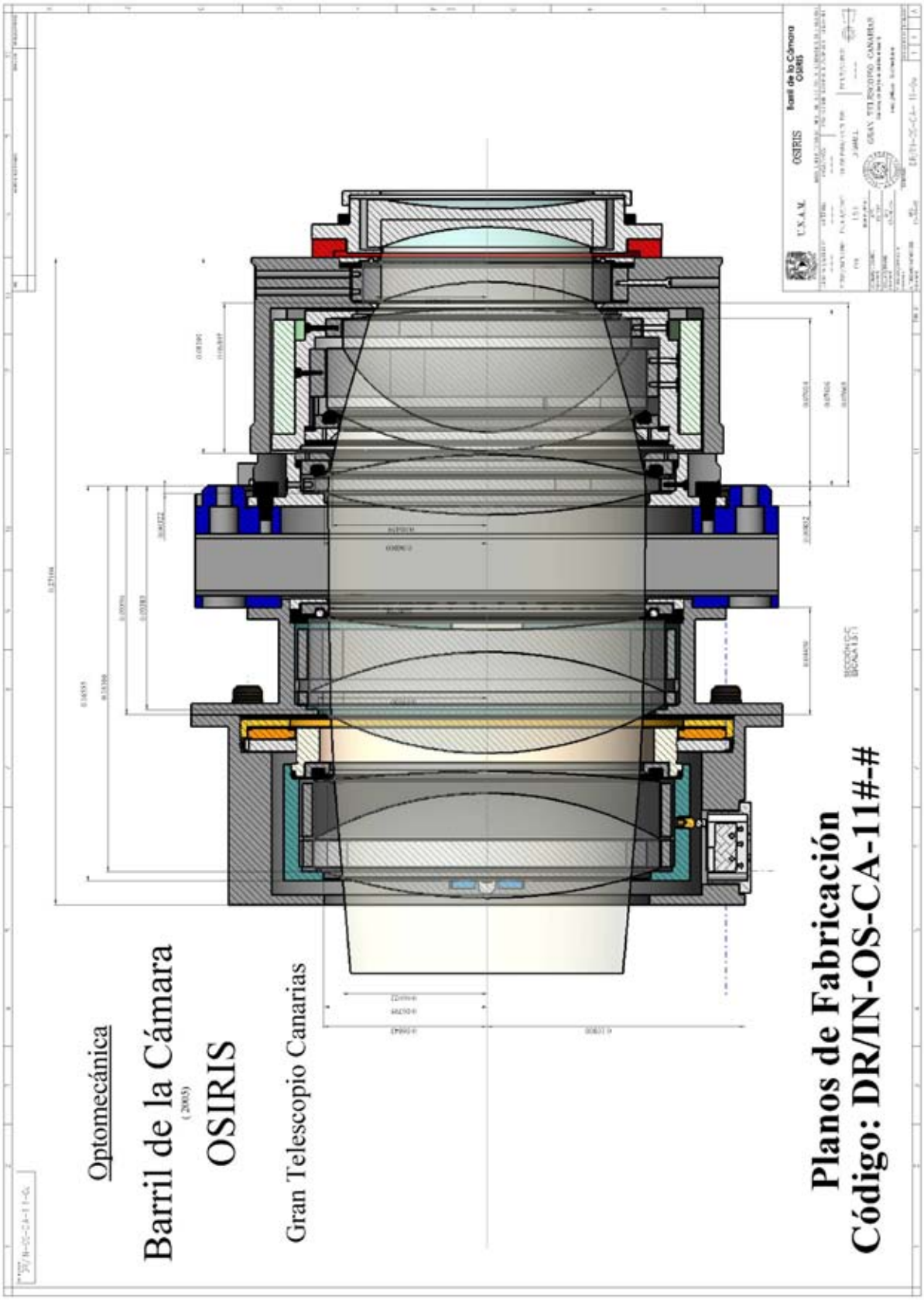
Item	Part name	Drawing number	Qty	File name (3D)	Material	Supplier
NA	Ensamble de la montura 90° y de transporte	DR/IN-OS-CA-201-BOX		Montura noventa grados		UNAM
IN-OS-CA-201-1001	Placa Shutter	DR/IN-OS-CA-201-1001	1	Placa Shutter		UNAM
IN-OS-CA-201-1002	Placa Lateral	DR/IN-OS-CA-201-1002	1	Placa Lateral		UNAM
IN-OS-CA-201-1002b	Placa Lateral 2	DR/IN-OS-CA-201-1002b	1	Placa Lateral 2		UNAM
IN-OS-CA-201-1003	Placa superior	DR/IN-OS-CA-201-1003	1	Placa superior		UNAM
IN-OS-CA-201-1003b	Placa Inferior	DR/IN-OS-CA-201-1003b	1	Placa Inferior		UNAM
IN-OS-CA-201-1004	Venatana acrílico	DR/IN-OS-CA-201-1004	2	Ventana acrílico		UNAM
IN-OS-CA-201-1005	Pupila	DR/IN-OS-CA-201-1005	1	Pupila		UNAM
IN-OS-CA-201-1006	Base pupila	DR/IN-OS-CA-201-1006	1	Base pupila		UNAM
IN-OS-CA-201-1007	Placa de giro	DR/IN-OS-CA-201-1007	1	Placa de giro		UNAM
IN-OS-CA-201-1008	Soportes para cargar la montura de giro	DR/IN-OS-CA-201-1008	2	Tope lateral		UNAM
IN-OS-CA-201-1009	Interface de giro	DR/IN-OS-CA-201-1009	1	Interface de giro		UNAM

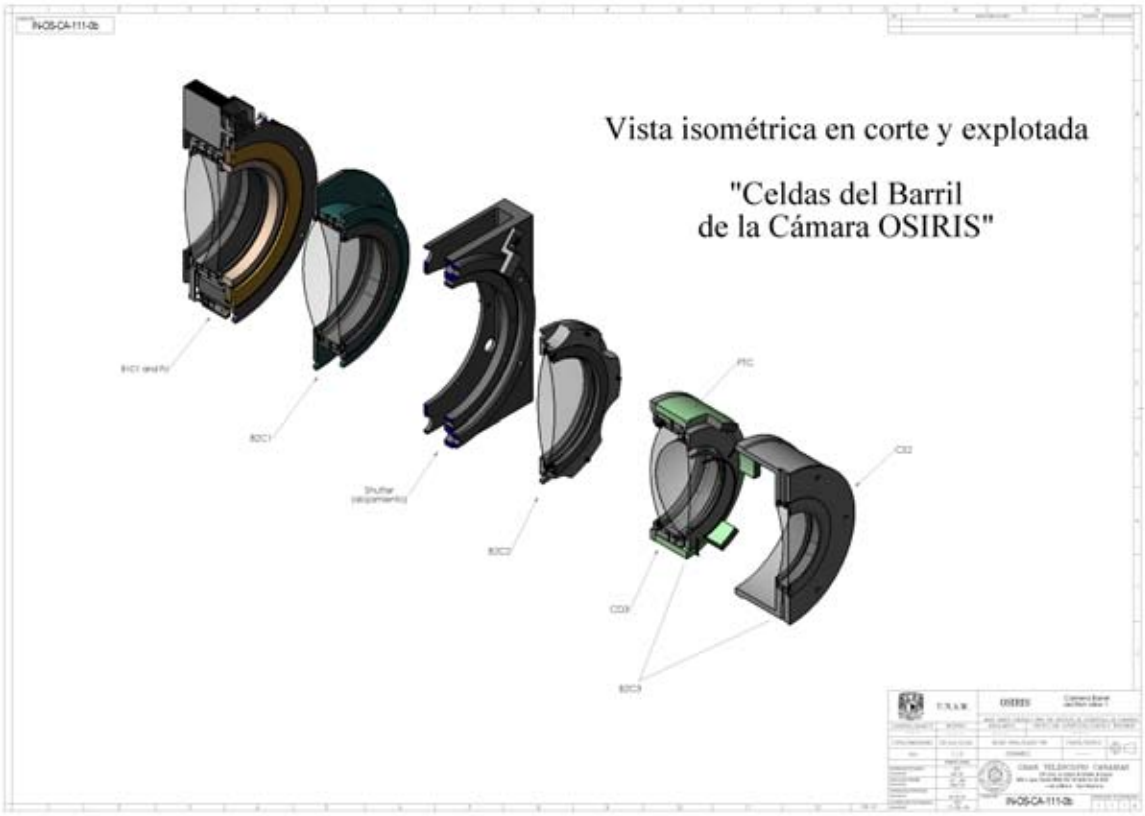
OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

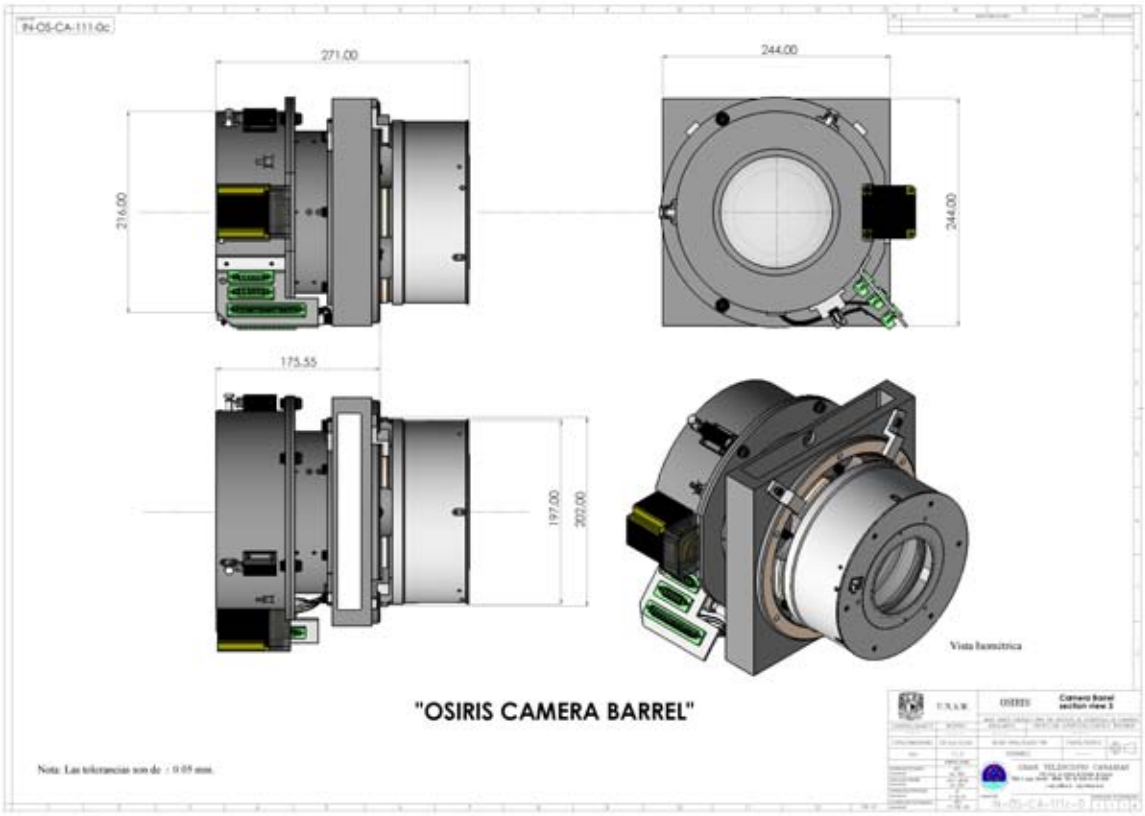
OSIRIS Camera Barrel: List of components and drawings

OSIRIS Camera Barrel: Metrología y pintura

Metrología de las celdas						
NA	Celda CD2	DR/IN-OS-CA-201-1032	NA	NA		UNAM
NA	Celda CS1	DR/IN-OS-CA-201-1033	NA	NA		UNAM
NA	Celda CD3	DR/IN-OS-CA-201-1034	NA	NA		UNAM
NA	Celda CS2	DR/IN-OS-CA-201-1035	NA	NA		UNAM
Pintura						
NA	Plano de pintura general del barril	DR/IN-OS-CA-Paint	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CD1	DR/IN-OS-CA-P111-1003	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura SEP2D1 y SEP3D1	DR/IN-OS-CA-P111-1005	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CCD1	DR/IN-OS-CA-P111-1008	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CD2	DR/IN-OS-CA-P112-1003	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura SEP2D2 y SEP3D2	DR/IN-OS-CA-P112-1005	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CS2	DR/IN-OS-CA-P112-2003	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura SEP1S1	DR/IN-OS-CA-P112-2004	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CD3	DR/IN-OS-CA-P112-3002	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura SEP1S2	DR/IN-OS-CA-P112-3004	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura CS2	DR/IN-OS-CA-P112-3007	NA	NA		UNAM
NA	Plano de Pintura SEP1D3 y SEP2D3	DR/IN-OS-CA-P112-3009	NA	NA		UNAM
IN-OS-CA-201-1029	Transporte cubierta S3b	DR/IN-OS-CA-201-1029	1	cubiertS3b		UNAM
IN-OS-CA-201-1030	Transporte separador S3	DR/IN-OS-CA-201-1030	2	separadorS3		UNAM
IN-OS-CA-201-1031	Transporte ventana S3	DR/IN-OS-CA-201-1031	2	ventanaS3a		UNAM


Optomecánica
Barril de la Cámara
(2005)
OSIRIS
Gran Telescopio Canarias
Planos de Fabricación
Código: DR/IN-OS-CA-11#-#
U.S.A.M.
OSIRIS
Barril de la Cámara OSIRIS
GRAN TELESCOPIO CANARIAS


IN-OS-CA-111-0b
Vista isométrica en corte y explotada
"Celdas del Barril
de la Cámara OSIRIS"
BCC1
Shutter
BCC2
PIC
CC2
CC3
BCC3
OSIRIS
IN-OS-CA-111-0b


IN-OS-CA-111-0c
271.00
216.00
244.00
244.00
175.55
197.00
202.00
Vista Isométrica
"OSIRIS CAMERA BARREL"
Nota: Las tolerancias son de ± 0.05 mm.
OSIRIS

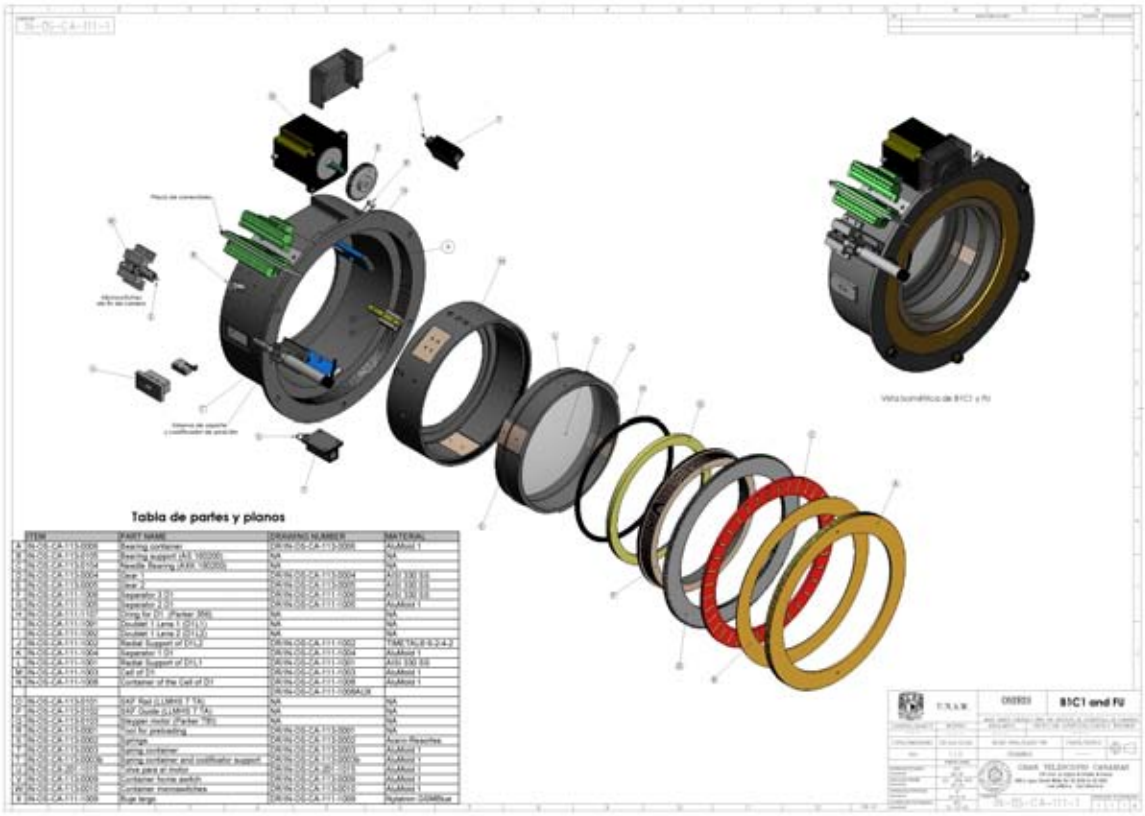


Tabla de partes y planos
BIC1 and FU

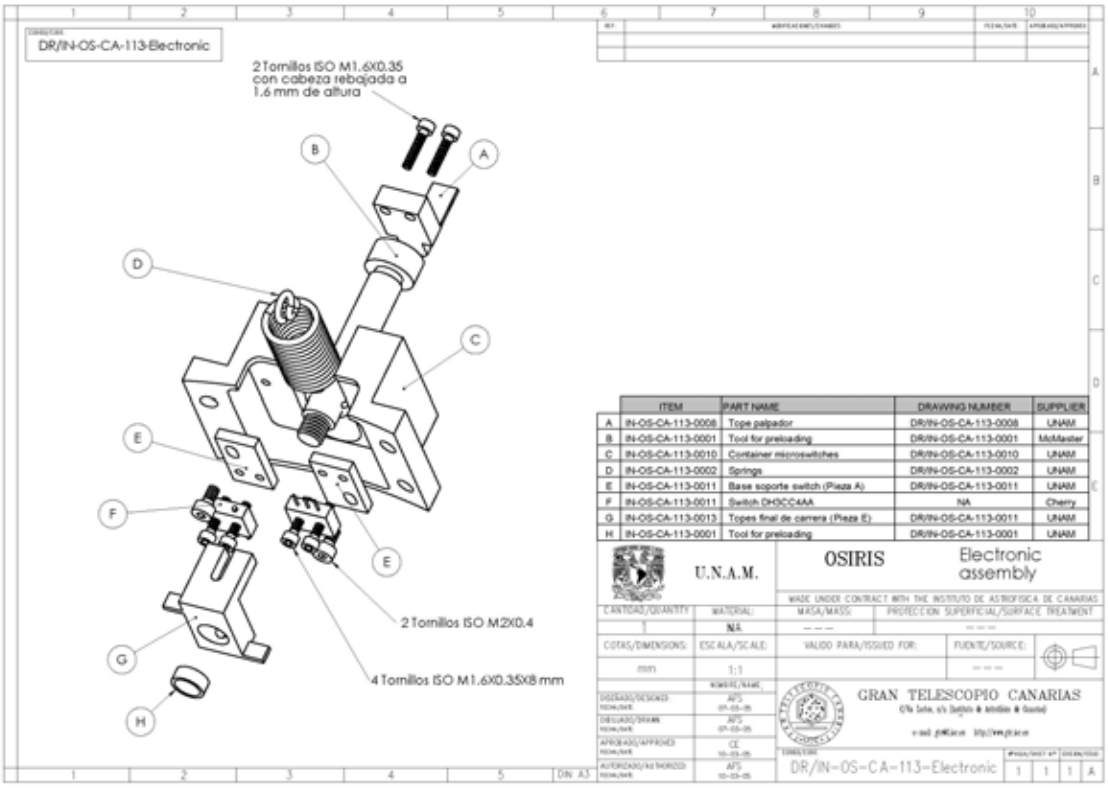

DR/IN-OS-CA-113-Electronic
2 Tornillos ISO M1.6X0.35 con cabeza rebajada a 1.6 mm de altura
A
B
C
D
E
F
G
H
2 Tornillos ISO M2X0.4
4 Tornillos ISO M1.6X0.35X8 mm
ITEM | PART NAME | DRAWING NUMBER | SUPPLIER
A | IN-OS-CA-113-0008 | Tope palpador | DR/IN-OS-CA-113-0008 | UNAM
B | IN-OS-CA-113-0001 | Tool for preloading | DR/IN-OS-CA-113-0001 | McMaster
C | IN-OS-CA-113-0010 | Container microswitches | DR/IN-OS-CA-113-0010 | UNAM
D | IN-OS-CA-113-0002 | Springs | DR/IN-OS-CA-113-0002 | UNAM
E | IN-OS-CA-113-0011 | Base soporte switch (Pieza A) | DR/IN-OS-CA-113-0011 | UNAM
F | IN-OS-CA-113-0011 | Switch DH3CC4AA | NA | Cherry
G | IN-OS-CA-113-0013 | Topes final de carrera (Pieza E) | DR/IN-OS-CA-113-0011 | UNAM
H | IN-OS-CA-113-0001 | Tool for preloading | DR/IN-OS-CA-113-0001 | UNAM
U.N.A.M.
OSIRIS
Electronic assembly
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY: 1
MATERIAL: NA
MASA/MASS: ---
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT: ---
COTAS/DIMENSIONS: mm
ESCALA/SCALE: 1:1
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED: AFS 07-03-05
DIBUJADO/DRAWN: AFS 07-03-05
APROBADO/APPROVED: CE 10-03-05
AUTORIZADO/AUTHORIZED: AFS 10-03-05
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-Electronic
DIN A3

Tabla de partes y planos
B2C1

B2C2

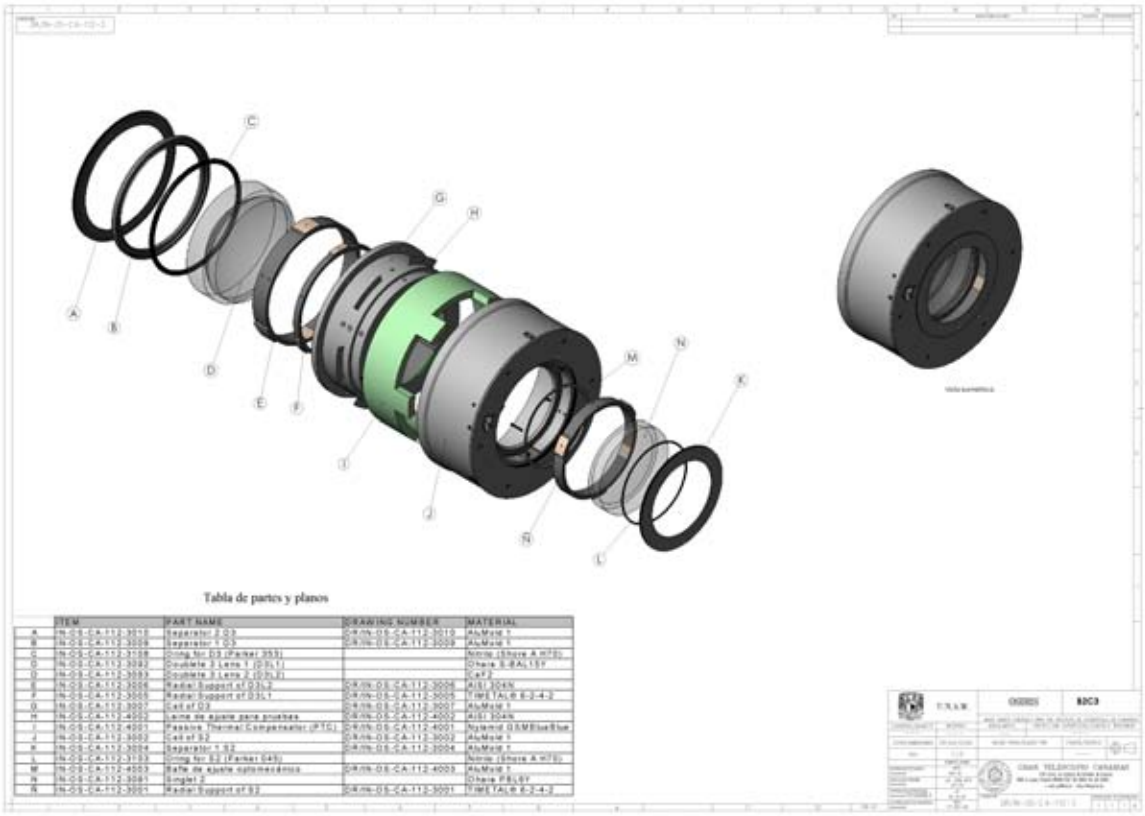
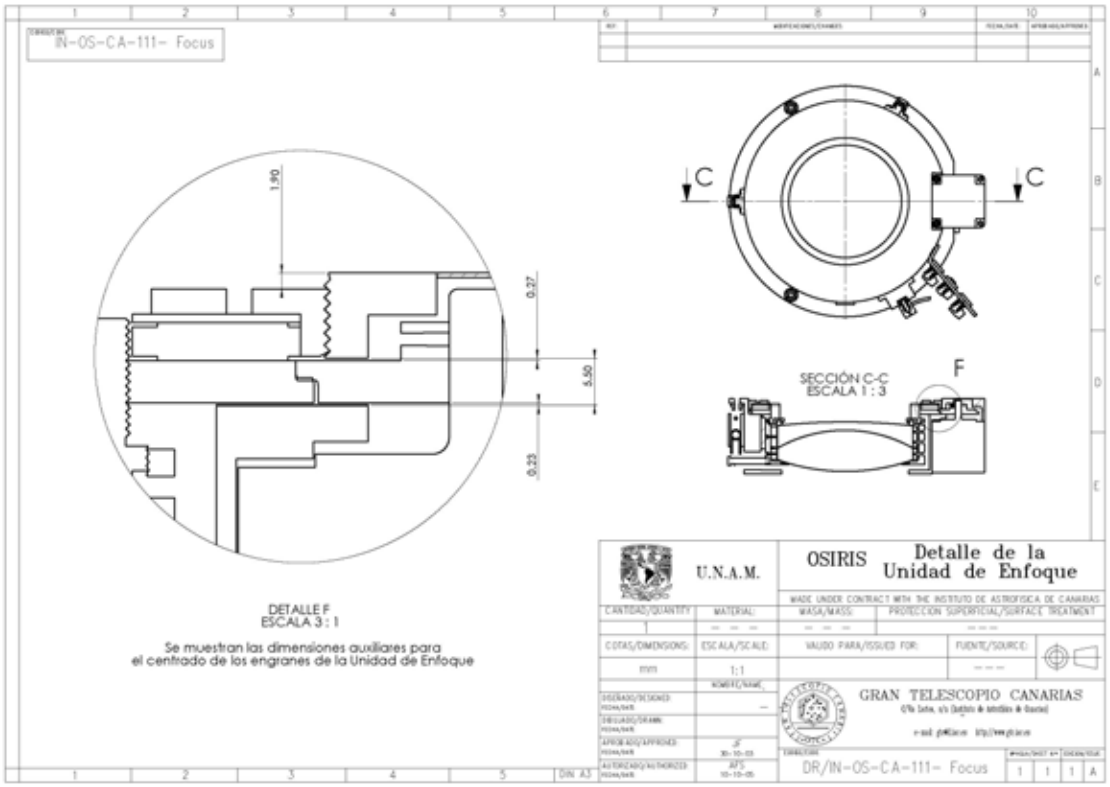
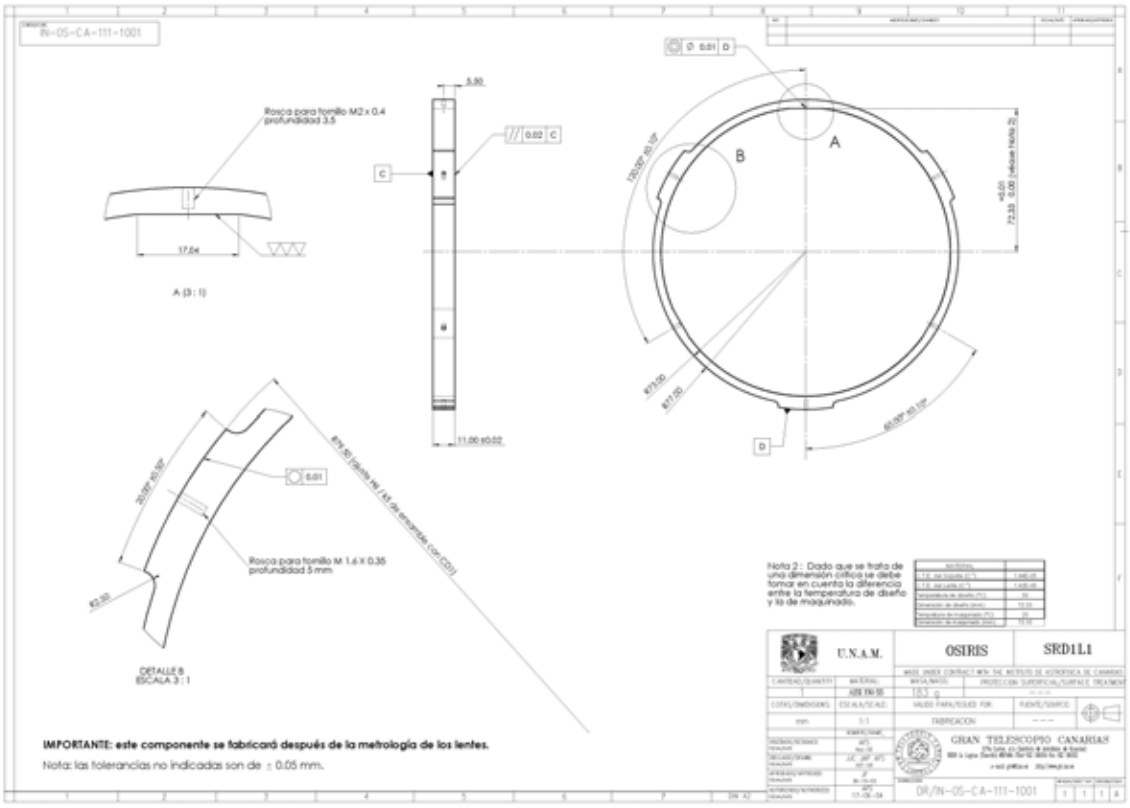
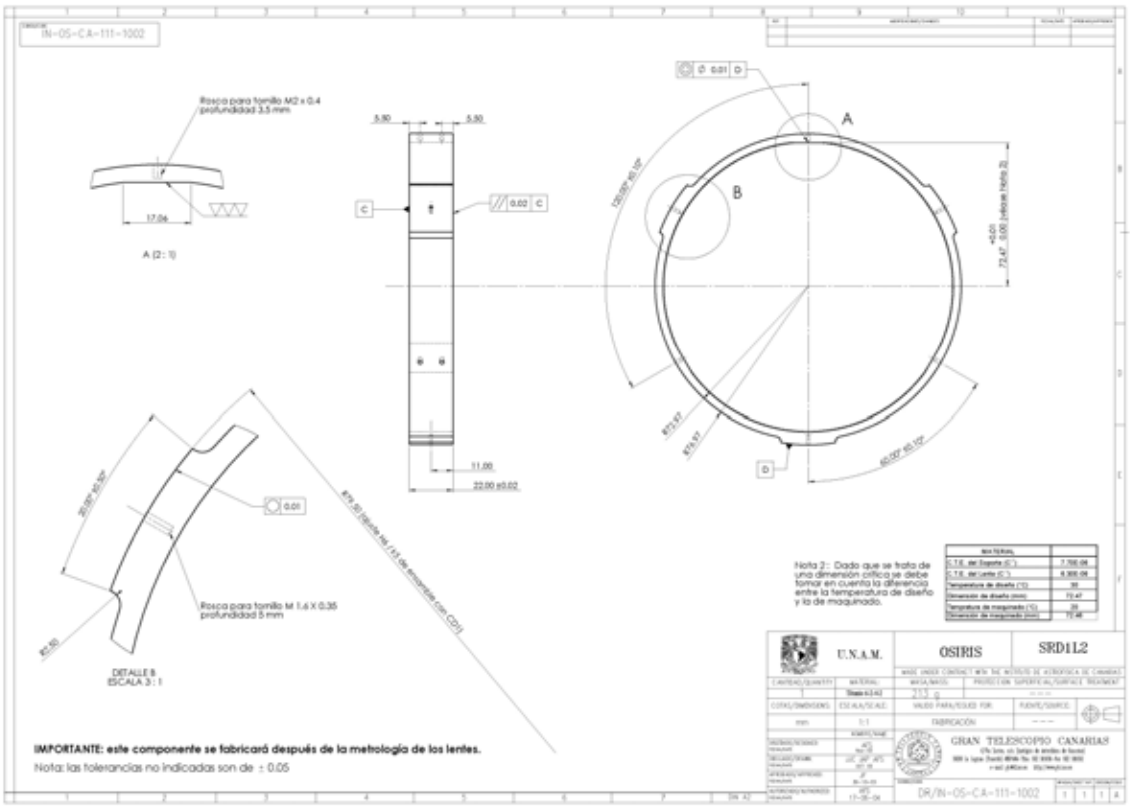


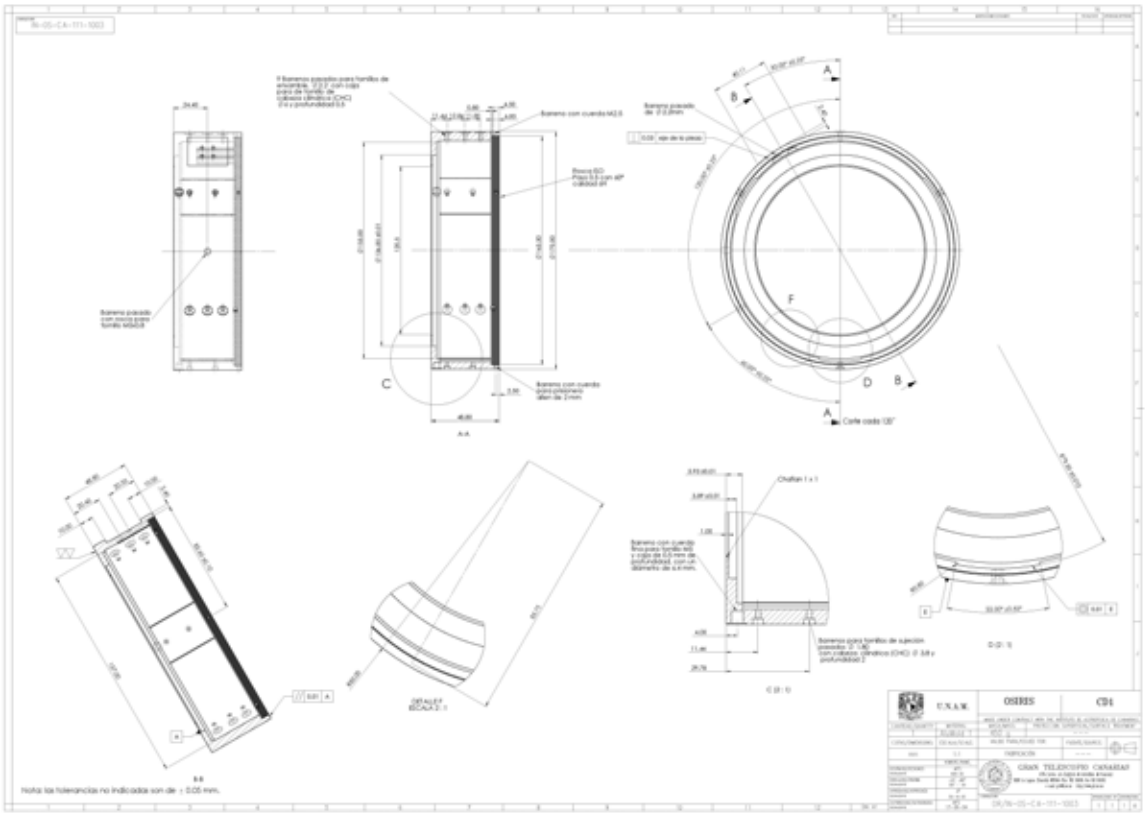
Tabla de partes y planos

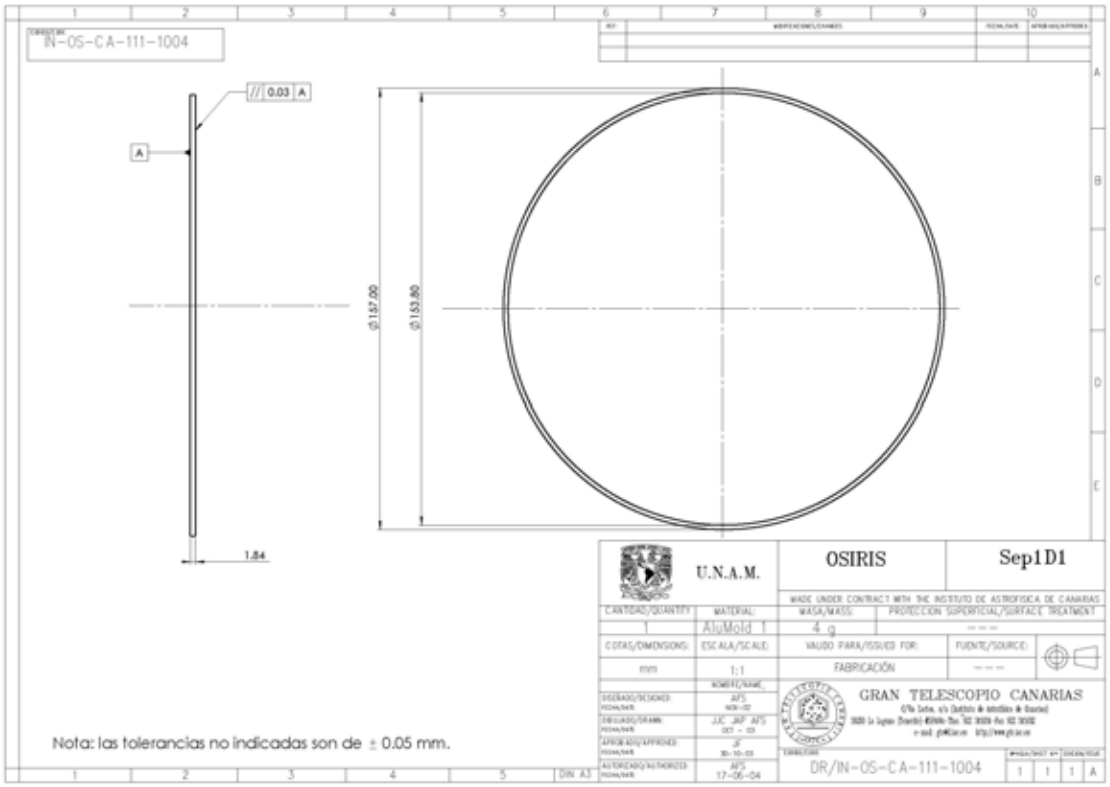
	ITEM	PART NAME	DRAWING NUMBER	MATERIAL
A	IN-OS-CA-112-3010	Separator 2 D3	DR/IN-OS-CA-112-3010	AlMold 1
B	IN-OS-CA-112-3009	Separator 1 D3	DR/IN-OS-CA-112-3009	AlMold 1
C	IN-OS-CA-112-3108	Oring for D3 (Parker 353)		Nitrile (Shore A HTS)
D	IN-OS-CA-112-3082	Doublete 3 Lens 1 (D3L1)		Ohara S-BAL15Y
D	IN-OS-CA-112-3083	Doublete 3 Lens 2 (D3L2)		CaF2
E	IN-OS-CA-112-3006	Radial Support of D3L2	DR/IN-OS-CA-112-3006	AISI 304N
F	IN-OS-CA-112-3005	Radial Support of D3L1	DR/IN-OS-CA-112-3005	TIMETAL® 6-2-4-2
G	IN-OS-CA-112-3007	Cell of D3	DR/IN-OS-CA-112-3007	AlMold 1
H	IN-OS-CA-112-4002	Lame de ajuste para pruebas	DR/IN-OS-CA-112-4002	AISI 304N
I	IN-OS-CA-112-4001	Passive Thermal Compensator (PTC)	DR/IN-OS-CA-112-4001	Nylamid GSM Blue/Blue
J	IN-OS-CA-112-3002	Cell of D2	DR/IN-OS-CA-112-3002	AlMold 1
K	IN-OS-CA-112-3004	Separator 1 D2	DR/IN-OS-CA-112-3004	AlMold 1
L	IN-OS-CA-112-3103	Oring for D2 (Parker 045)		Nitrile (Shore A HTS)
M	IN-OS-CA-112-4003	Baffle de ajuste optomecánico	DR/IN-OS-CA-112-4003	AlMold 1
N	IN-OS-CA-112-3081	Singlet 2		Ohara PBL6Y
R	IN-OS-CA-112-3001	Radial Support of D2	DR/IN-OS-CA-112-3001	TIMETAL® 6-2-4-2

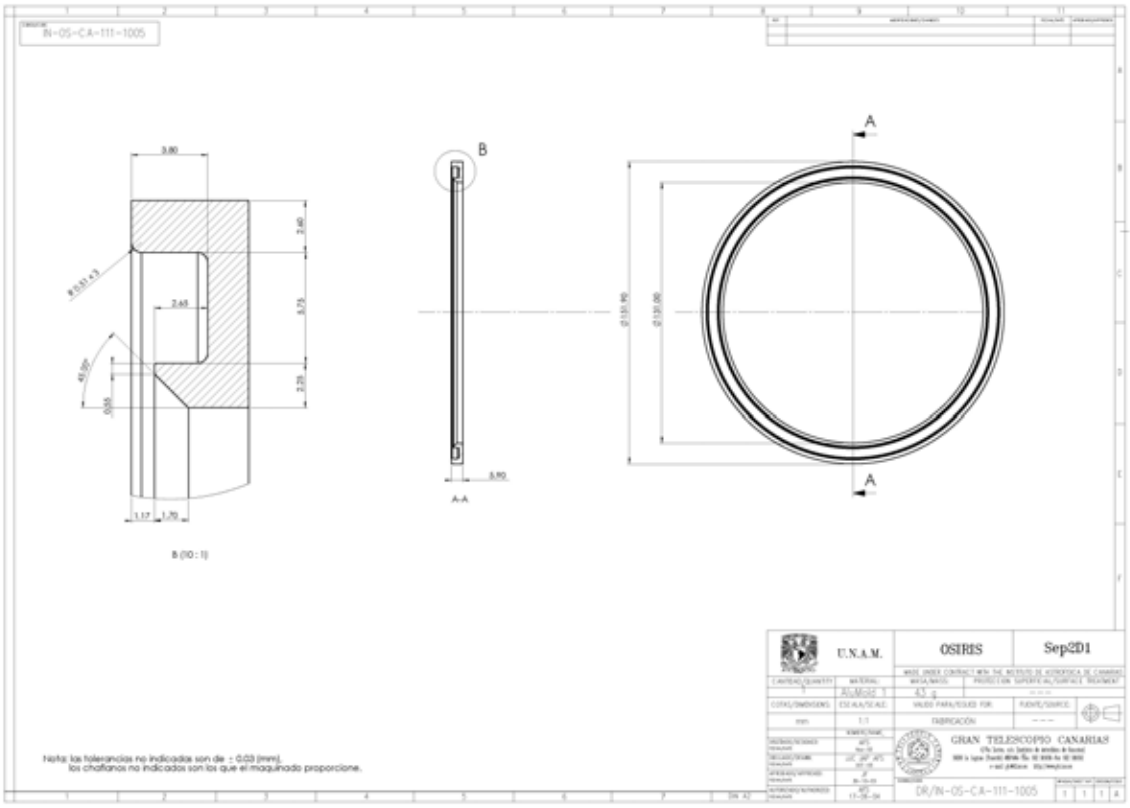


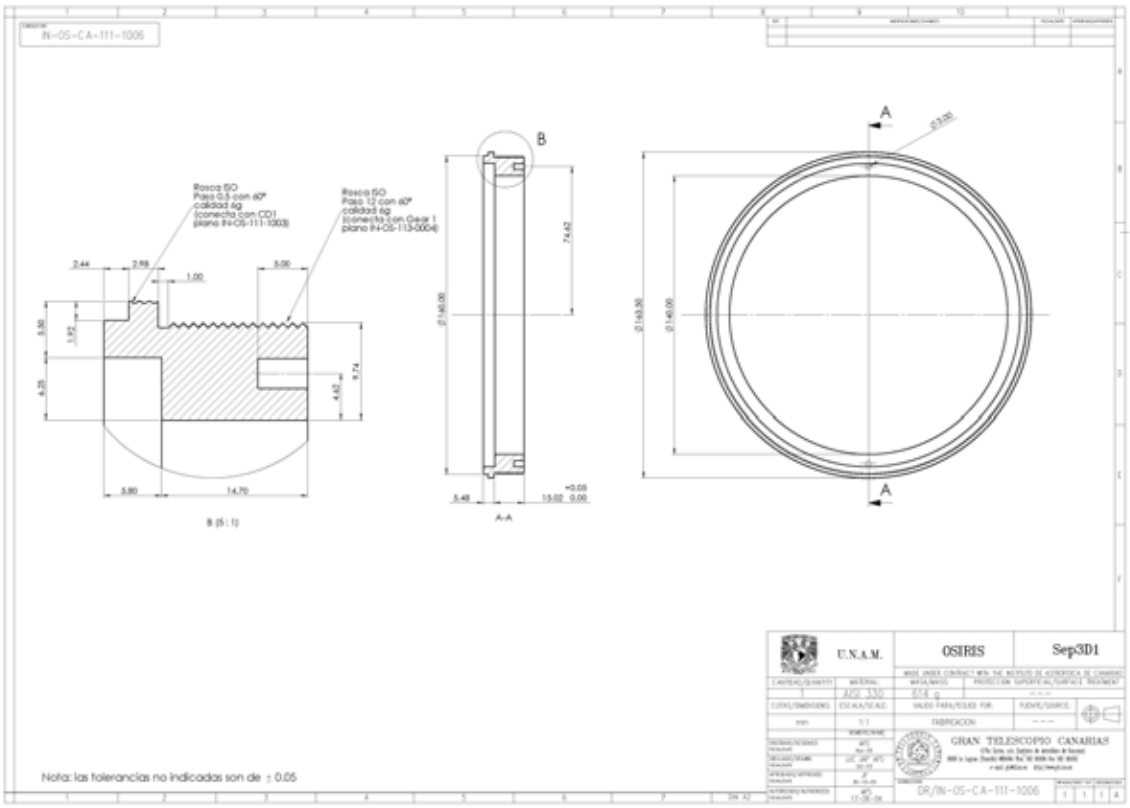

IN-OS-CA-111-1001
Rosca para tornillo M2 x 0.4 profundidad 3.5
17.04
A (3 : 1)
5.50
0.02 C
11.00 ±0.02
A
B
C
D
Ø 0.01 D
120.00° ±0.10°
60.00° ±0.10°
Ø73.00
Ø71.90
72.33 +0.01 -0.00 (véase Nota 2)
20.00° ±0.50°
0.01
Rosca para tornillo M 1.6 X 0.35 profundidad 5 mm
R2.50
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD1L1
183 g
1:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1001
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

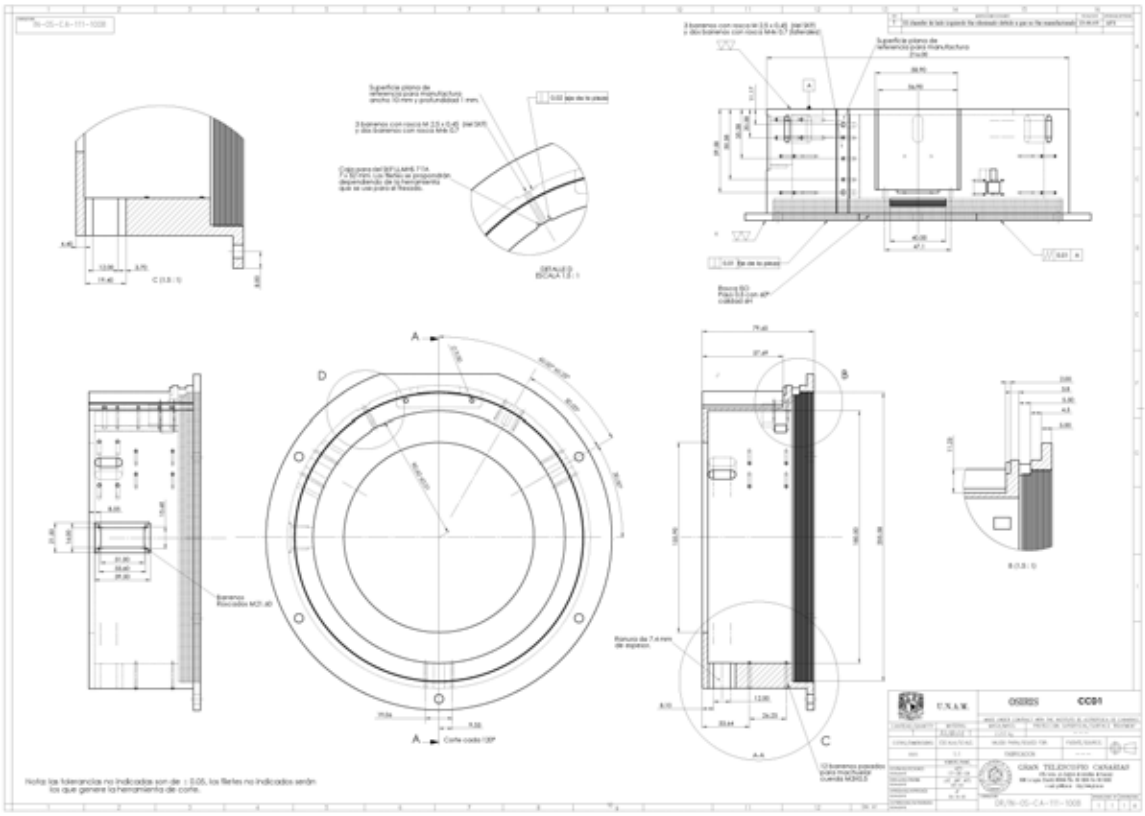

IN-OS-CA-111-1002
Rosca para tornillo M2 x 0.4 profundidad 3.5 mm
17.04
A (2 : 1)
5.50
5.50
0.02 C
11.00
22.00 ±0.02
A
B
C
D
Ø 0.01 D
120.00° ±0.10°
60.00° ±0.10°
Ø73.67
Ø73.67
72.47 +0.01 -0.00 (véase Nota 2)
20.00° ±0.50°
0.01
Rosca para tornillo M 1.6 X 0.35 profundidad 5 mm
R2.50
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD1L2
213 g
1:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1002
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

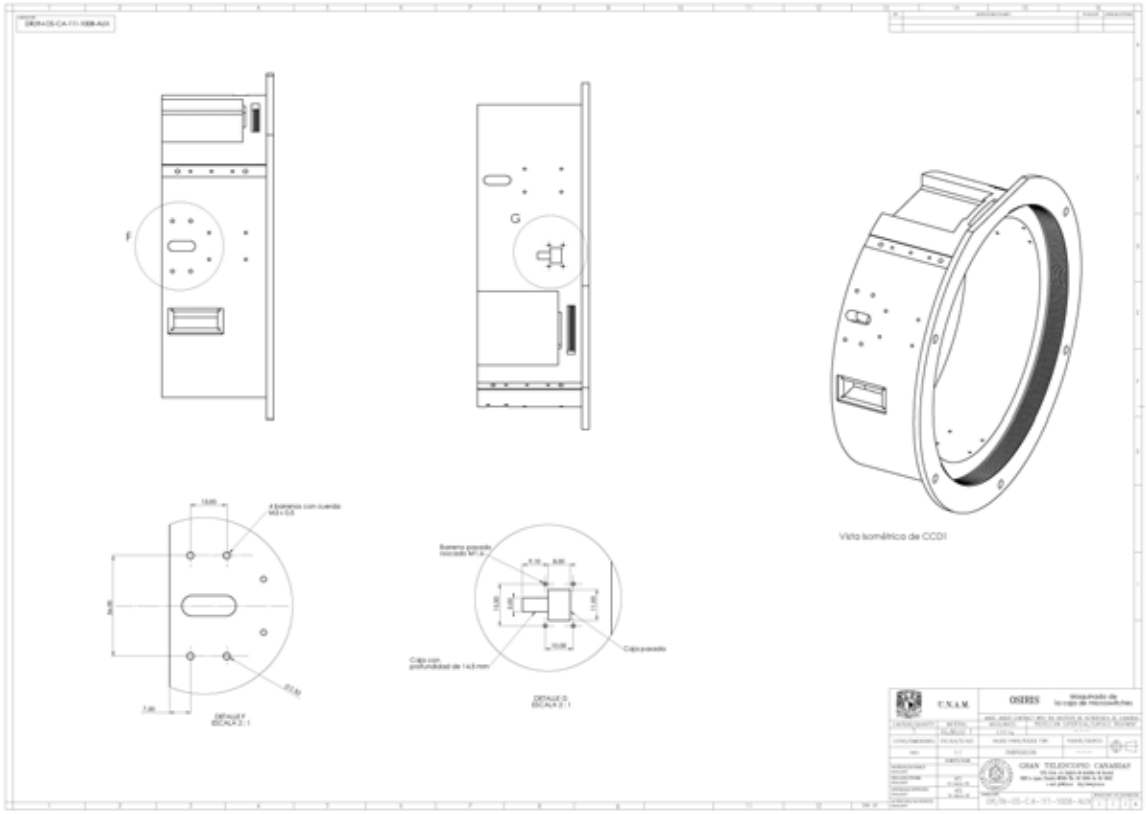

U.N.A.M.
OSIRIS
CD1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

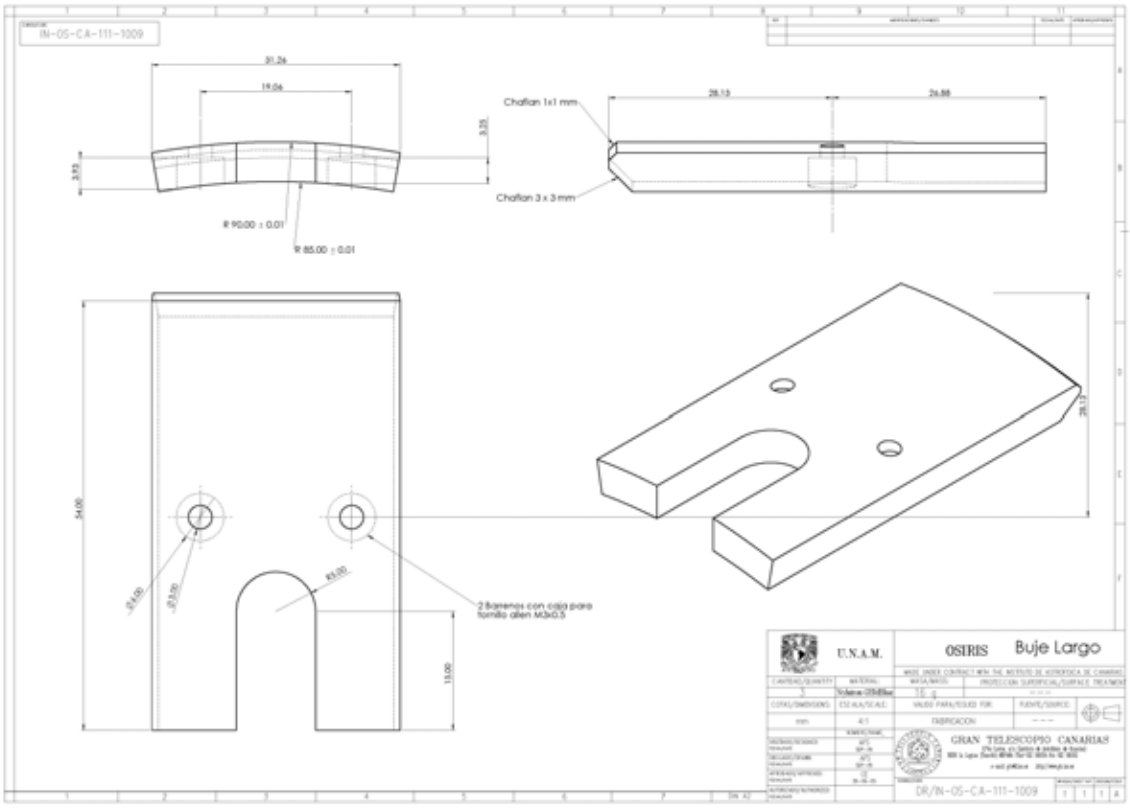

IN-OS-CA-111-1004
0.03 A
A
Ø157.00
Ø153.80
1.84
U.N.A.M.
OSIRIS
Sep1D1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCIÓN SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AluMold 1
4 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
FABRICACIÓN
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
AFS
JJC JAP AFS
JF
AFS
17-06-04
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1004
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
DIN A3

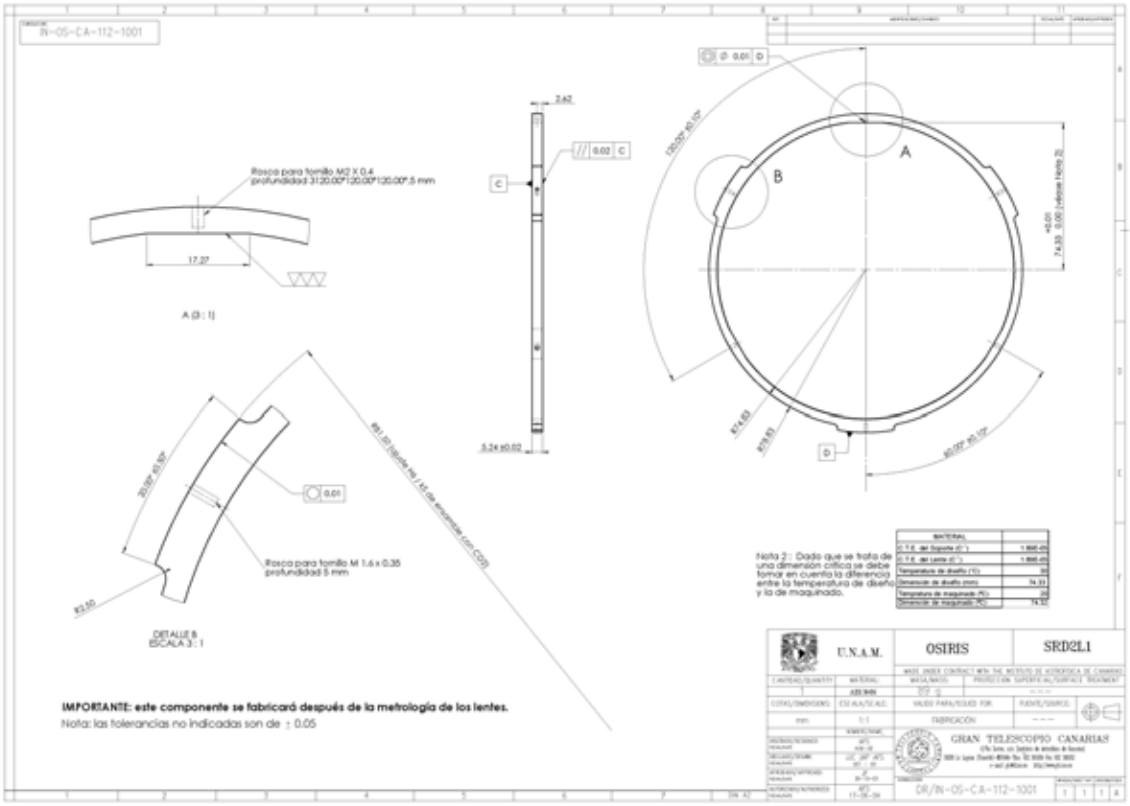

IN-OS-CA-111-1005
U.N.A.M.
OSIRIS
Sep2D1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1005
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.03 [mm],
los chaflanes no indicados son los que el maquinado proporcione.

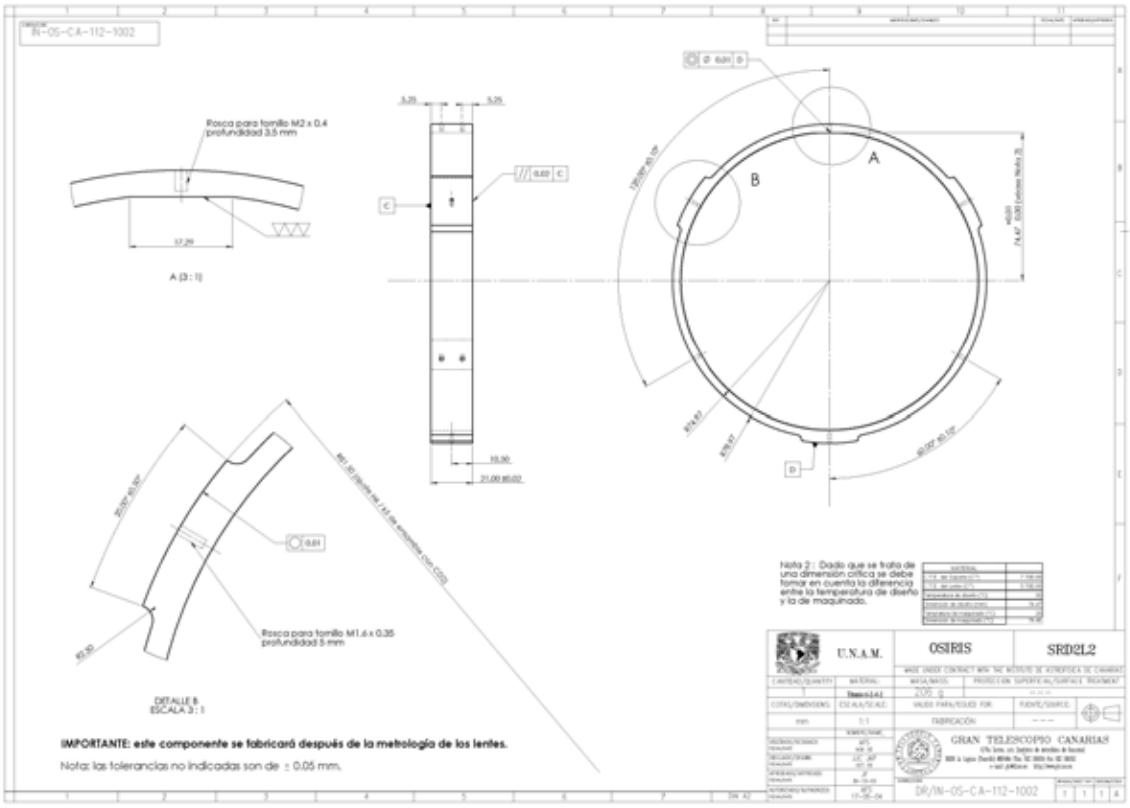

IN-OS-CA-111-1006
U.N.A.M.
OSIRIS
Sep3D1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1006
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

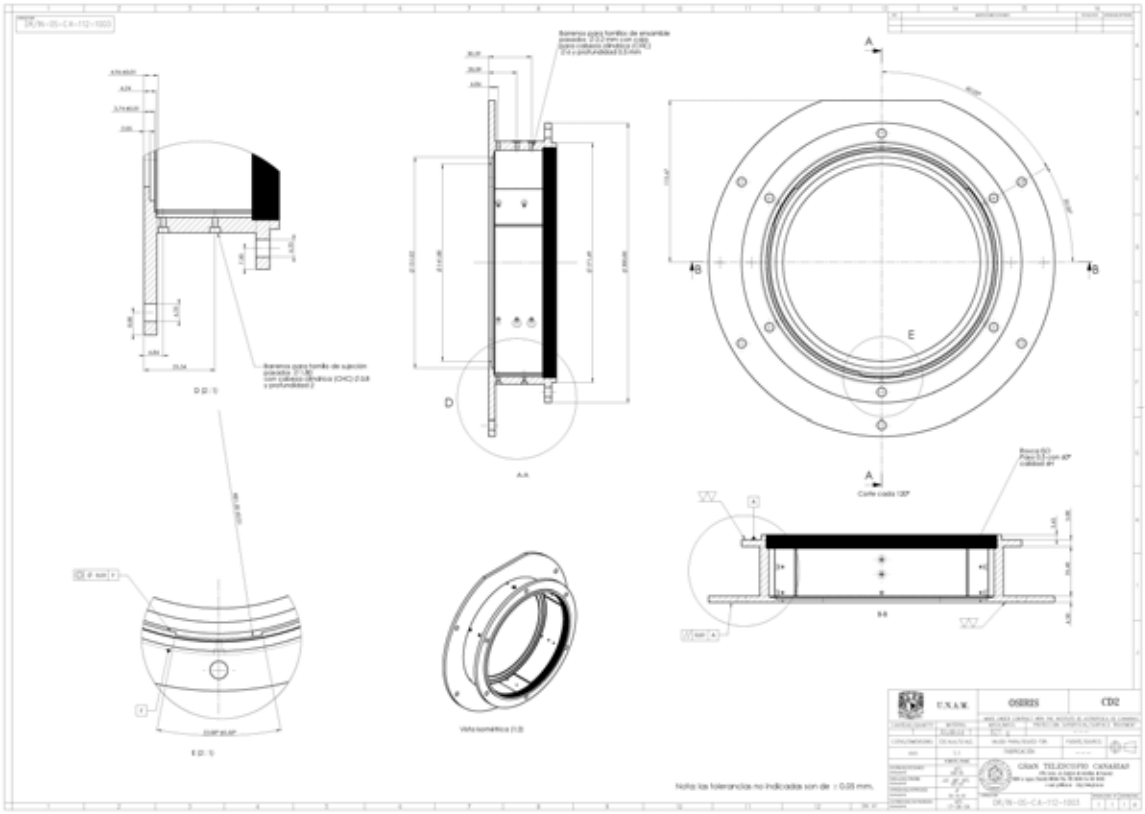

U.N.A.M.
OSIRIS
CCD1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05, los filetes no indicados serán los que genere la herramienta de corte.

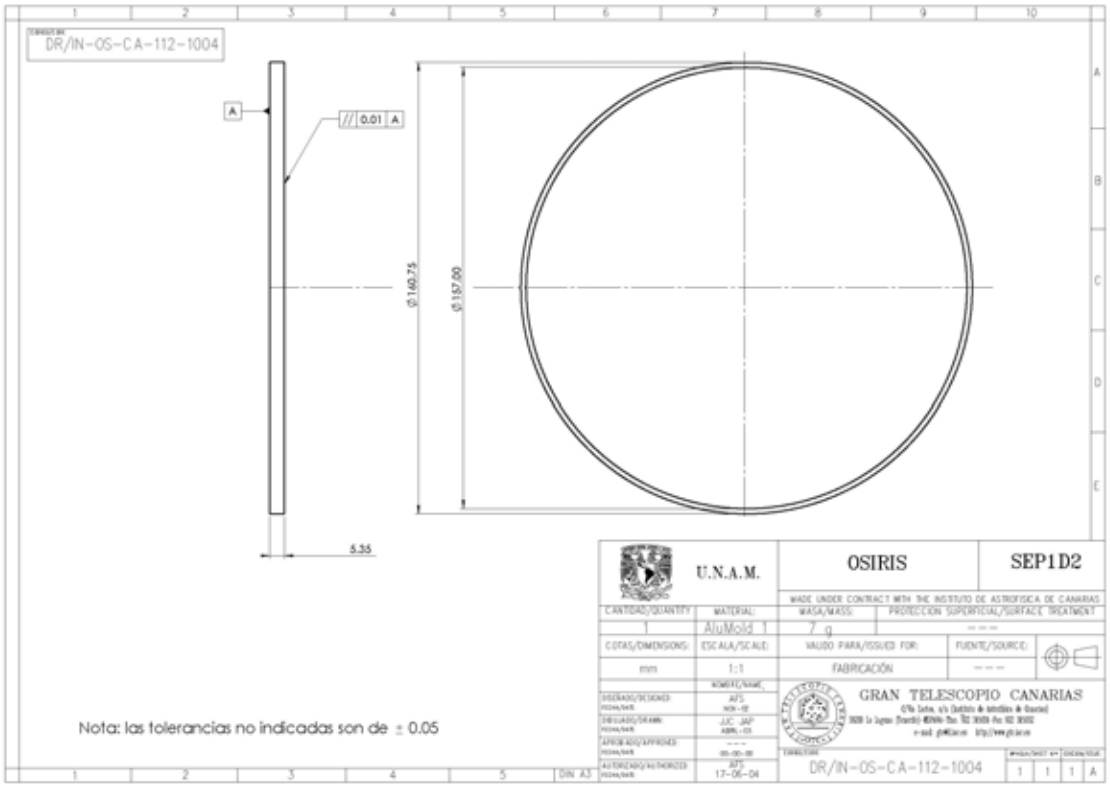

U.N.A.M.
OSIRIS
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
Vista isométrica de CCD1

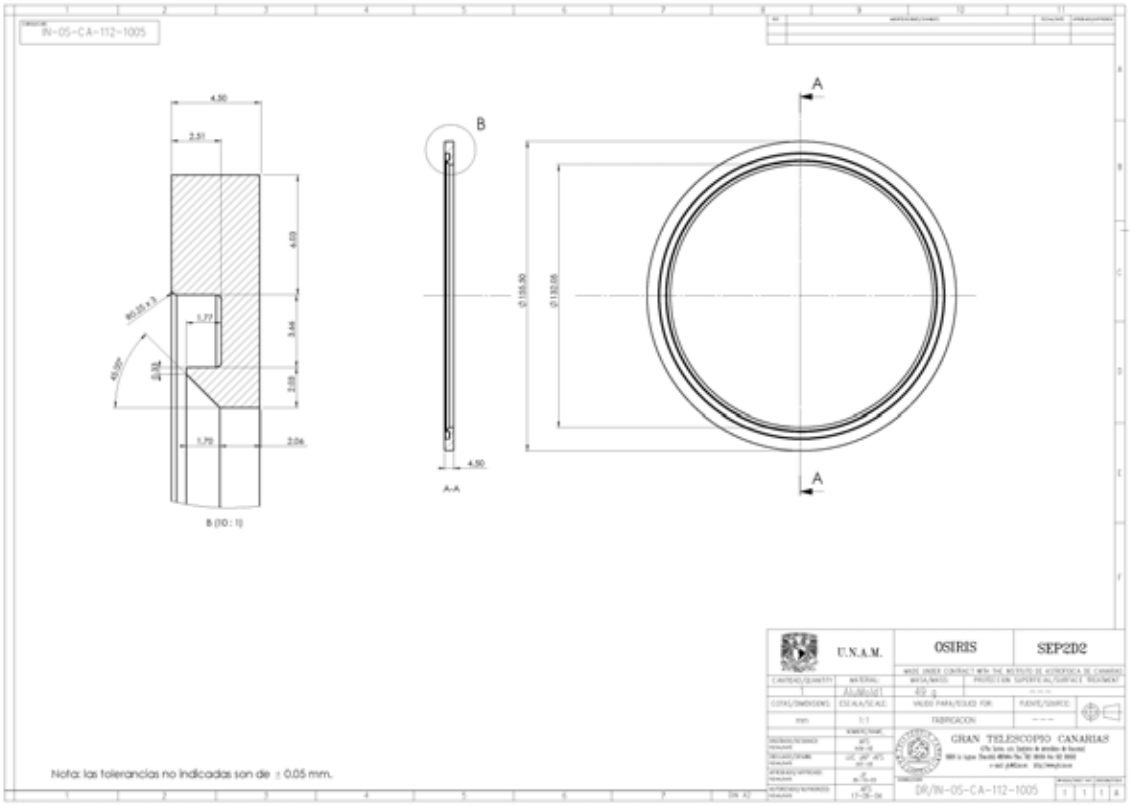

IN-OS-CA-111-1009
31.24
19.06
3.75
3.93
R 90.00 ± 0.01
R 85.00 ± 0.01
Chaflan 1x1 mm
Chaflan 3 x 3 mm
28.13
26.88
34.00
Ø 6.00
Ø 3.00
R5.00
2 Barrenos con caja para tornillo allen M3x0.5
13.00
U.N.A.M.
OSIRIS
Buje Largo
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-111-1009

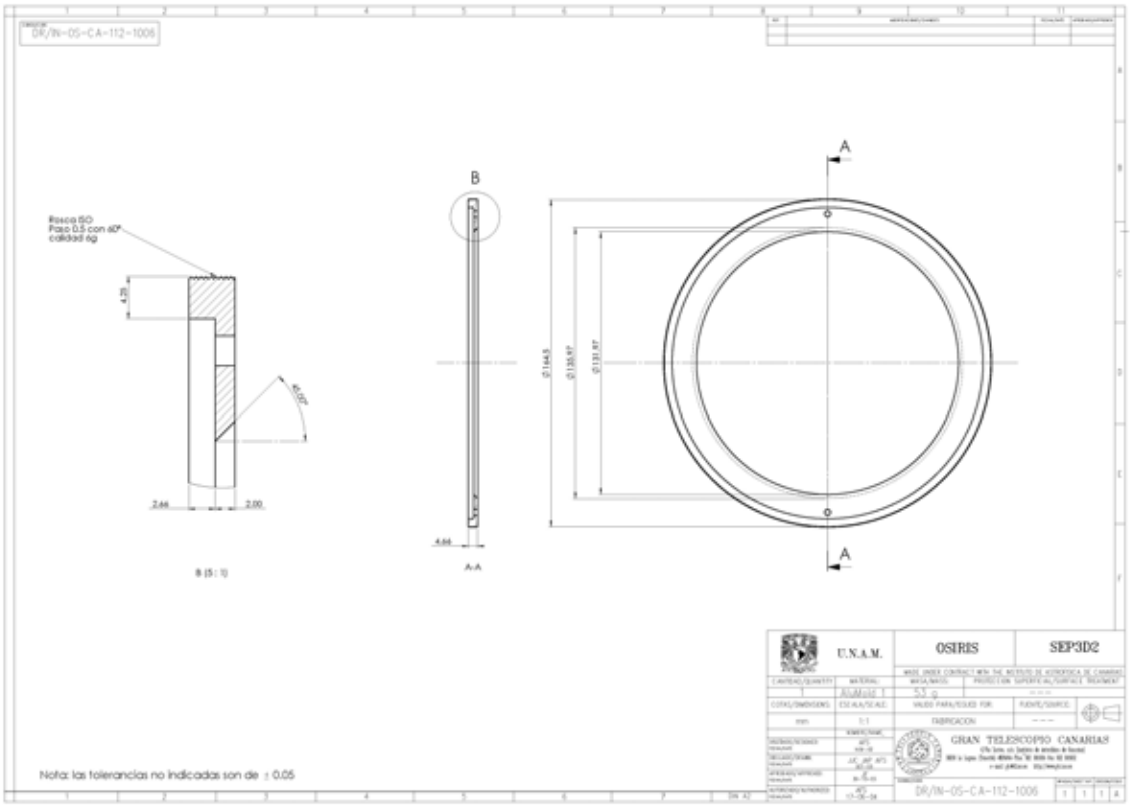

IN-OS-CA-112-1001
Rosca para tornillo M2 X 0.4
profundidad 3120.00°120.00°120.00°5 mm
17.27
A (3 : 1)
2.62
5.24 ±0.02
Ø 0.01 D
0.02 C
120.00° ±0.10°
A
B
C
D
Ø14.83
Ø19.93
60.00° ±0.10°
20.00° ±0.10°
0.01
Rosca para tornillo M 1.6 x 0.35
profundidad 5 mm
R3.50
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD2L1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1001

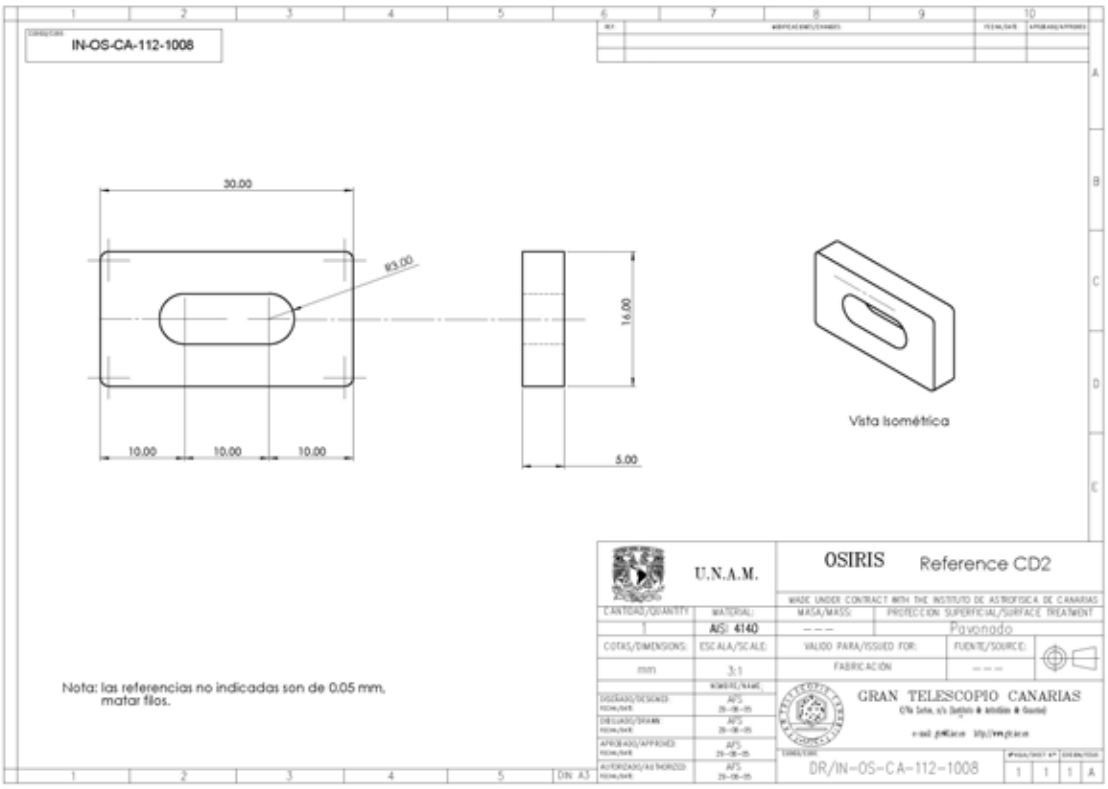

IN-OS-CA-112-1002
Rosca para tornillo M2 x 0.4
profundidad 3.5 mm
A (3 : 1)
Rosca para tornillo M1.6 x 0.35
profundidad 5 mm
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD2L2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1002

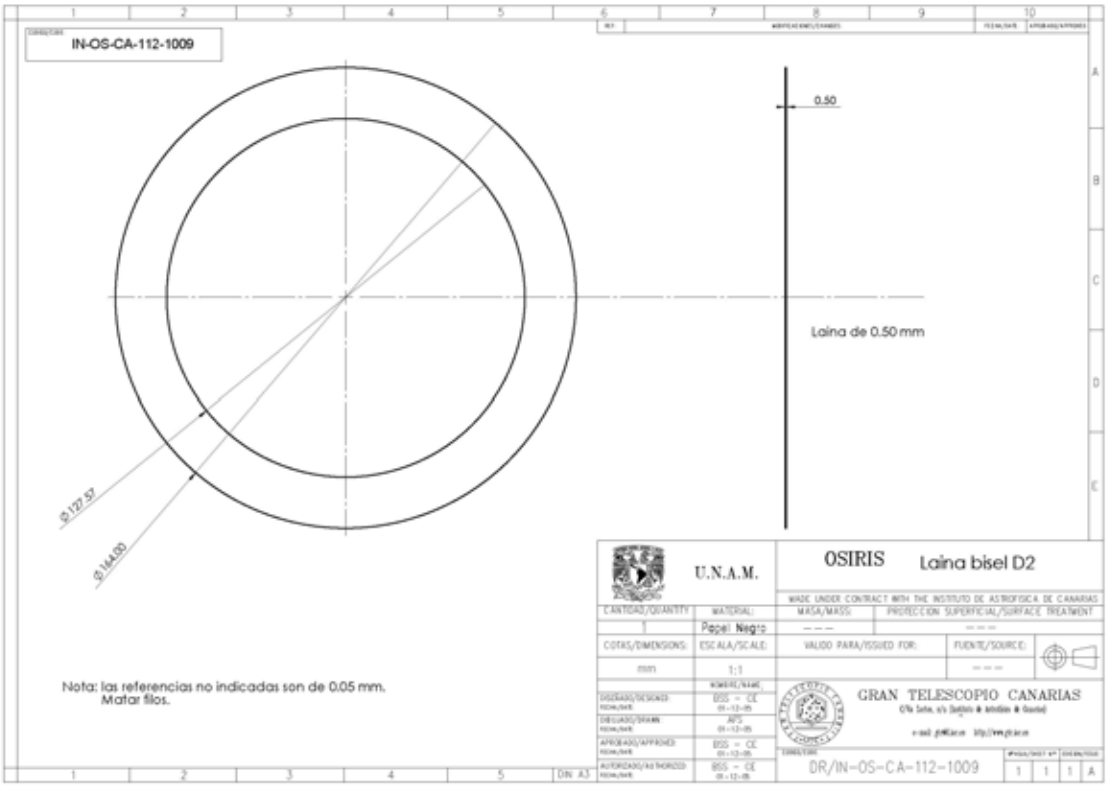

Corte cada 120°
Vista isométrica (1:3)
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
U.N.A.M.
OSIRIS
CD2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS

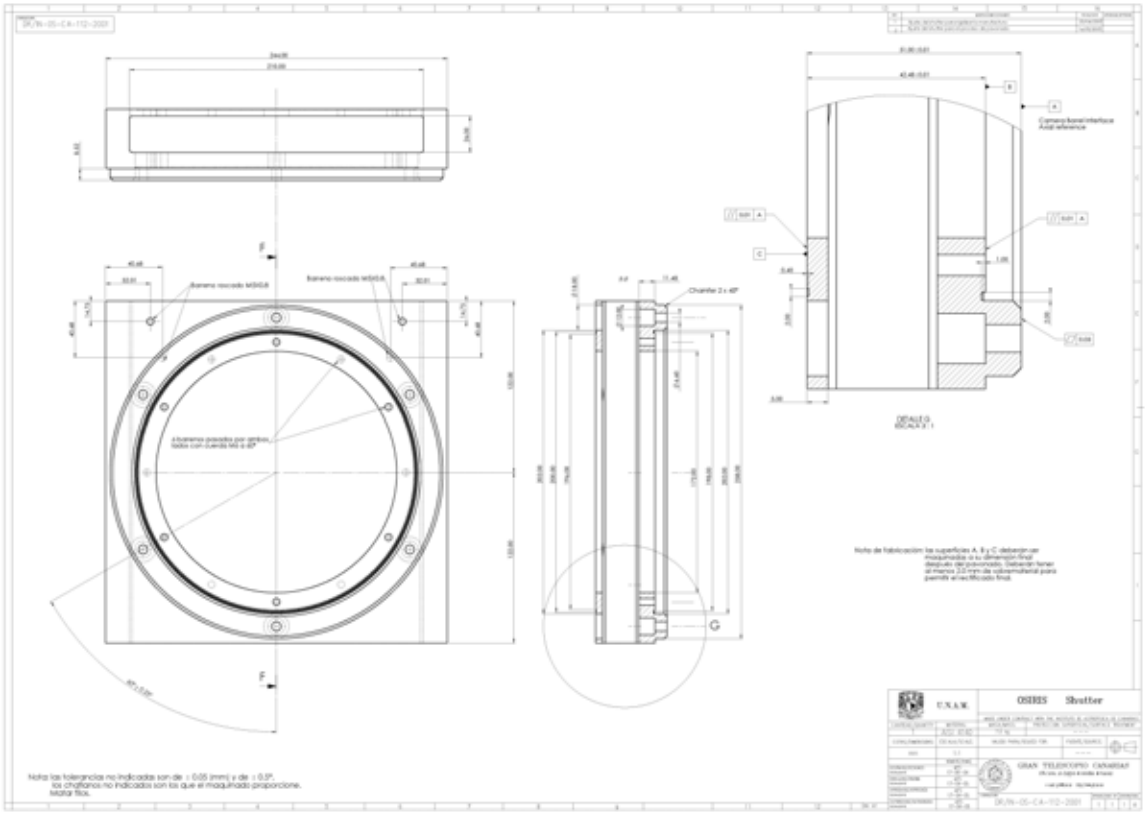

DR/IN-OS-CA-112-1004
A
// 0.01 A
Ø160.75
Ø157.00
5.35
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP1D2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AluMold 1
7 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
FABRICACIÓN
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
AFS
17-06-04
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1004
DIN A3
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

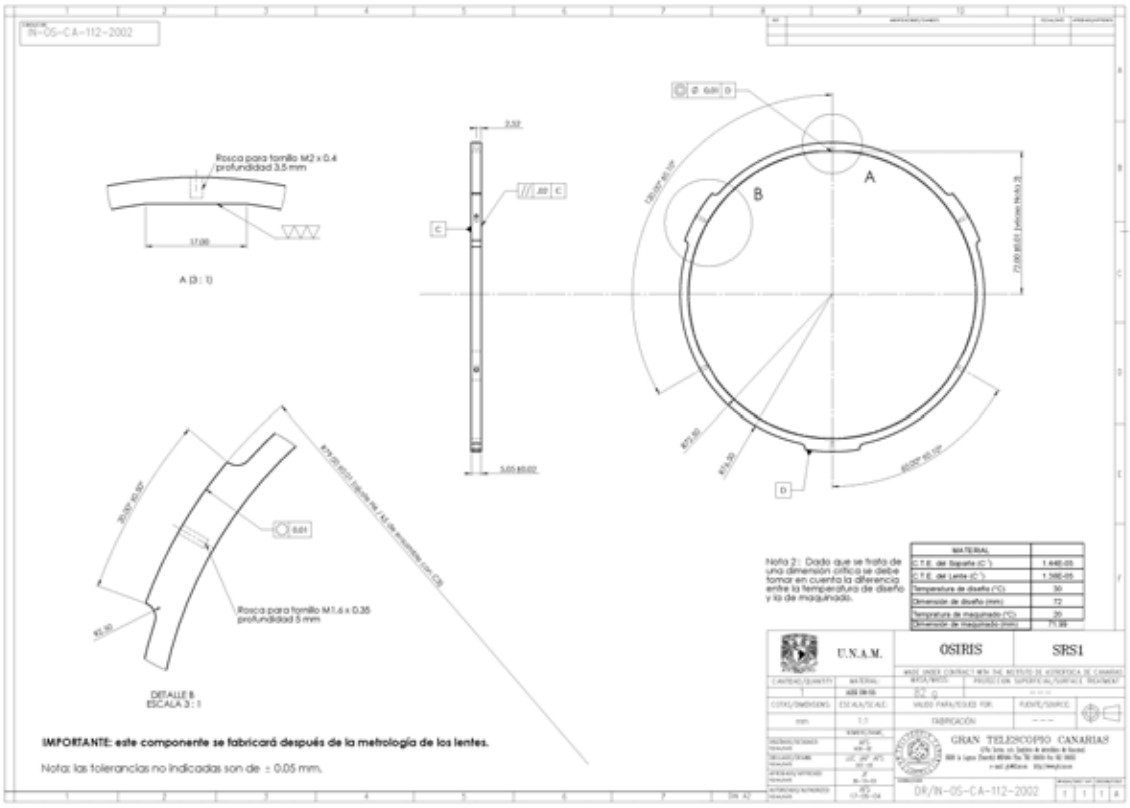

IN-OS-CA-112-1005
4.50
2.51
6.03
3.44
2.09
2.06
1.79
1.77
0.31
45.00
B (10 : 1)
B
4.50
A-A
A
A
Ø155.90
Ø150.00
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP2D2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
AluMold
42 g
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1005
DIN A3
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

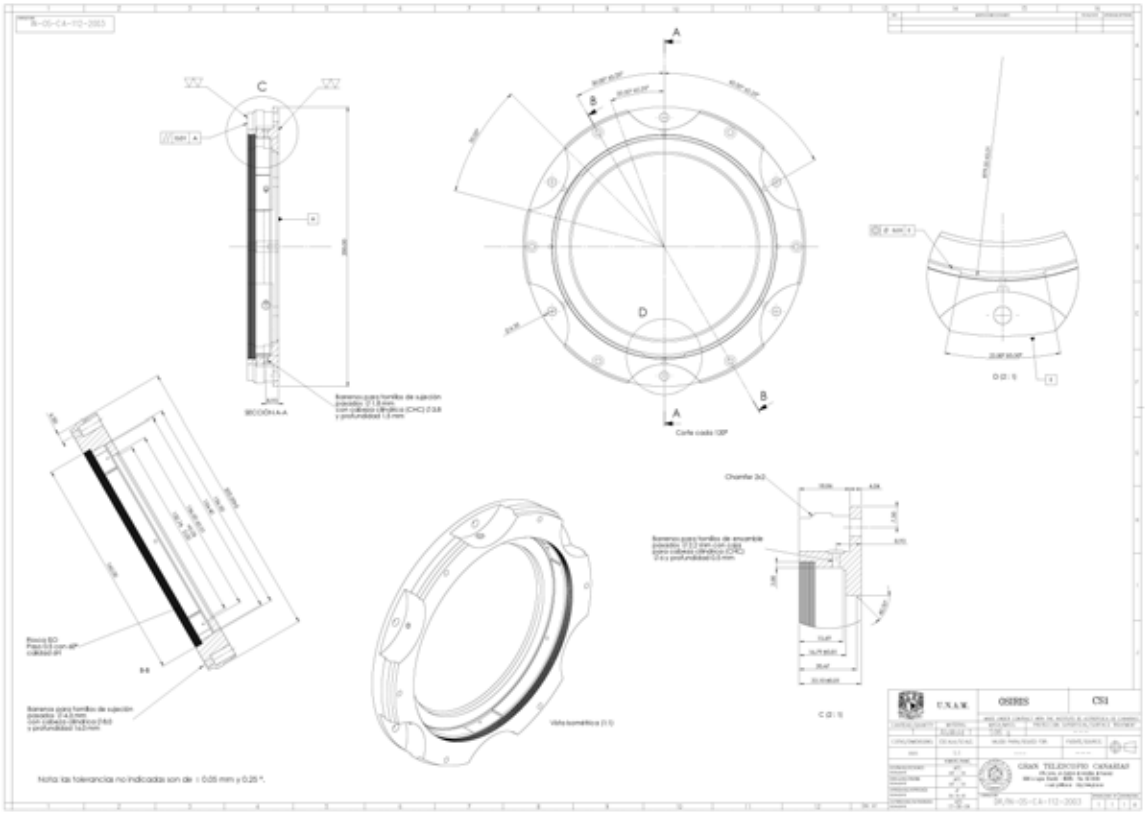

DR/IN-OS-CA-112-1006
Rosca ISO
Paso 0.5 con 60°
calidad 6g
4.75
45.00°
2.66
2.00
B (5 : 1)
B
4.66
A-A
A
A
Ø164.5
Ø135.97
Ø131.87
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP3D2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AISI 1
5.5 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
1:1
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1006
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

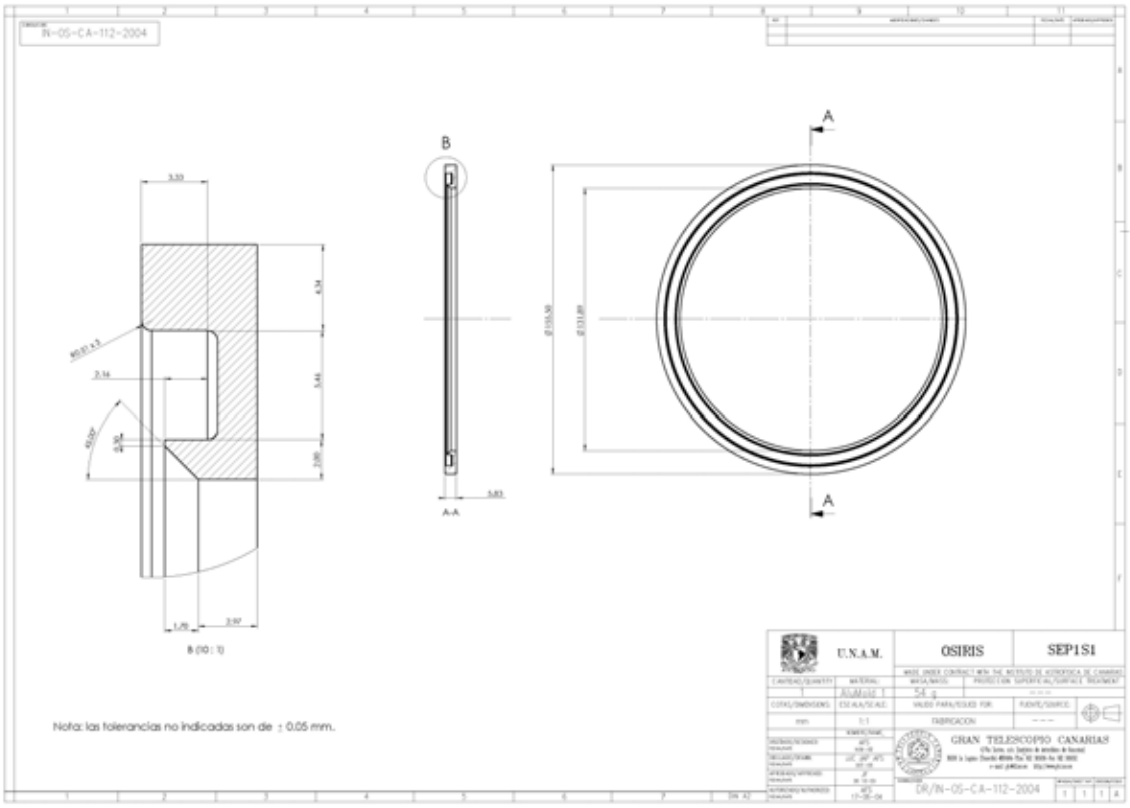

IN-OS-CA-112-1008
30.00
R3.00
16.00
10.00
10.00
10.00
5.00
Vista Isométrica
U.N.A.M.
OSIRIS
Reference CD2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AISI 4140
Pavonado
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
3:1
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1008
Nota: las referencias no indicadas son de 0.05 mm,
matar filos.

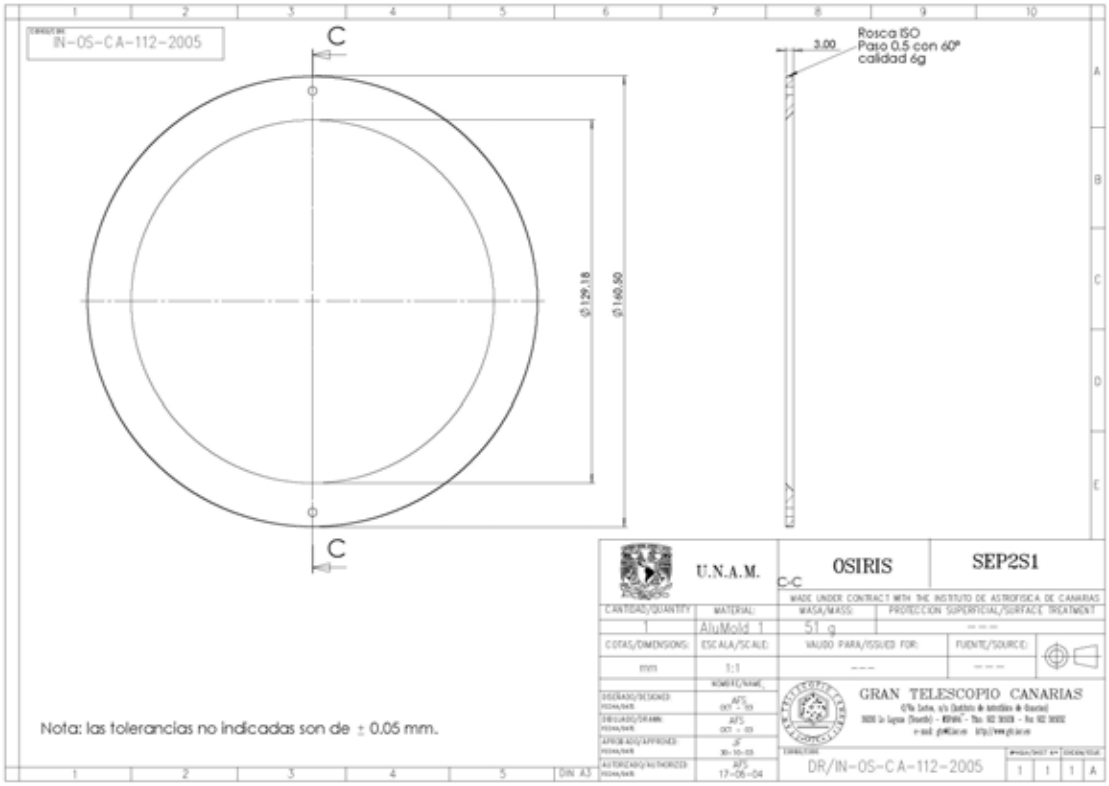

IN-OS-CA-112-1009
0.50
Laina de 0.50 mm
Ø127.57
Ø144.00
Nota: las referencias no indicadas son de 0.05 mm.
Matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Laina bisel D2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
Papel Negro
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-1009
DIN A3

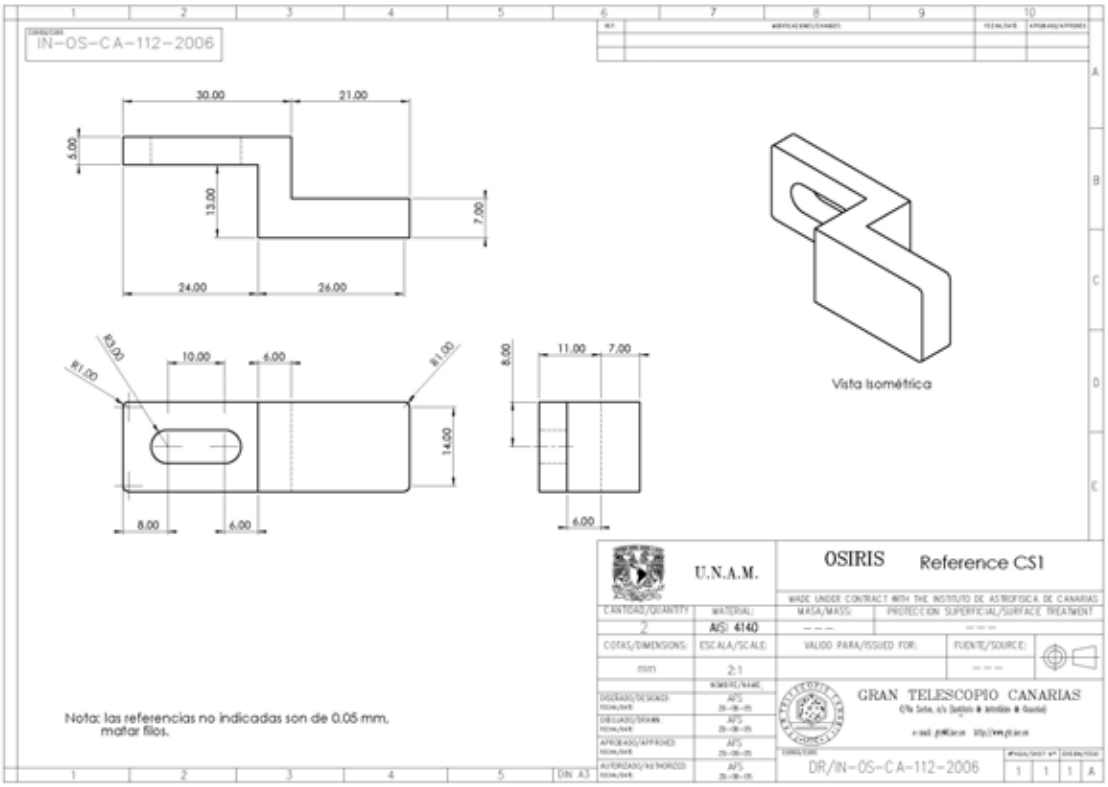

Chamfer 2 x 45°
DETALLE D
OSIRIS Shutter
U.N.A.M.
GRAN TELESCOPIO CANARIAS

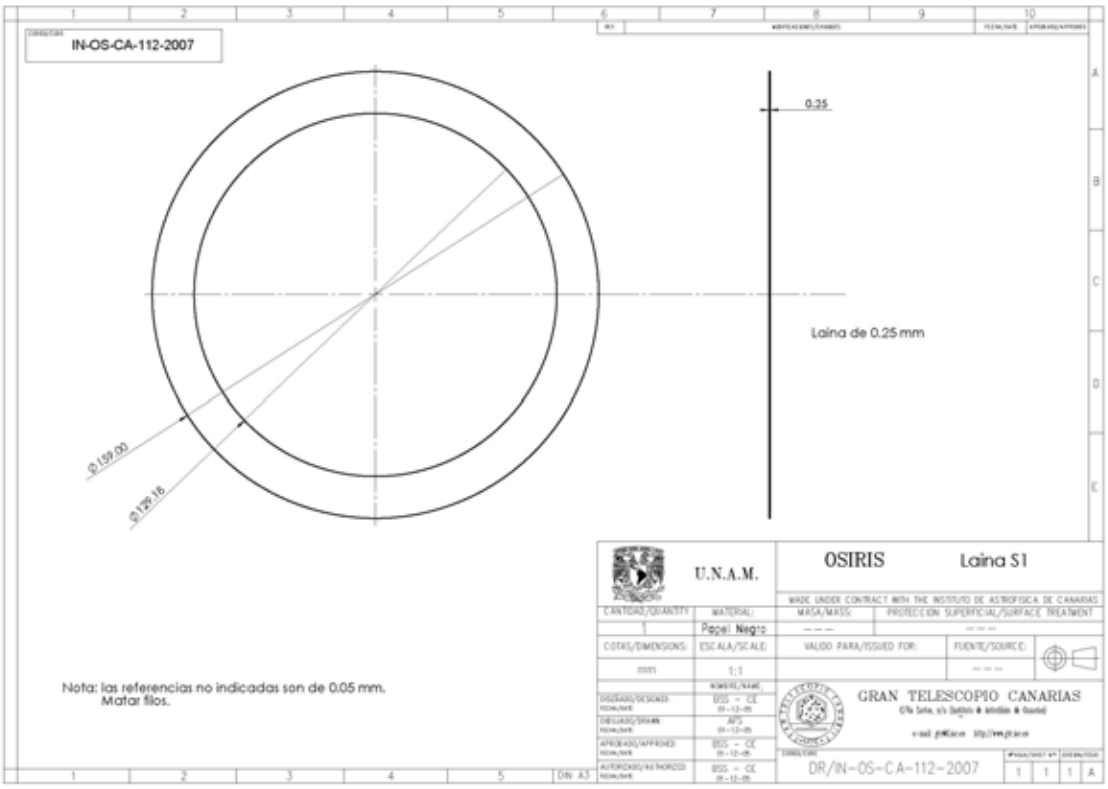

Rosca para tornillo M2 x 0.4
profundidad 3.5 mm
A (2 : 1)
DETALLE B
ESCALA 2 : 1
Rosca para tornillo M1.6 x 0.35
profundidad 5 mm
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
Nota 2: Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
MATERIAL
C.T.E. del Soporte (C⁻¹) 1.44E-05
C.T.E. del Lente (C⁻¹) 1.39E-05
Temperatura de diseño (°C) 30
Dimensión de diseño (mm) 72
Temperatura de maquinado (°C) 20
Dimensión de maquinado (mm) 71.99
U.N.A.M.
OSIRIS
SRS1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/N-05-CA-112-2002

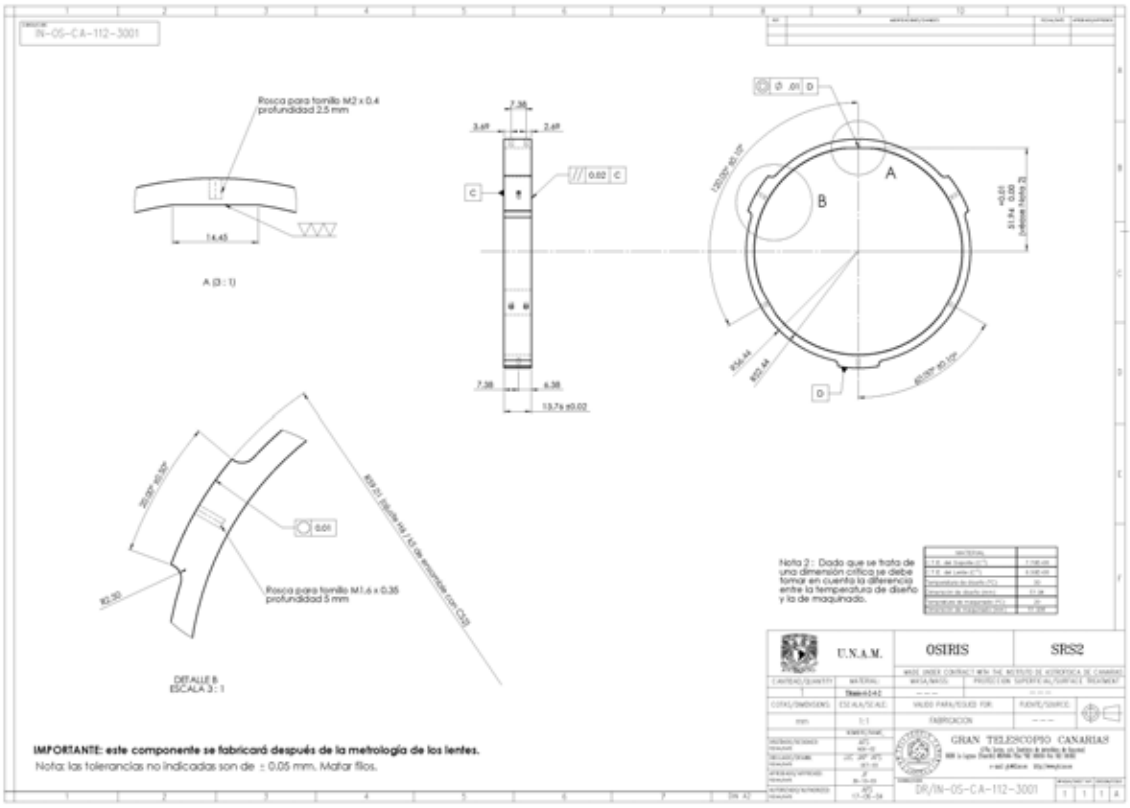

Corte cada 120°
Vista isométrica (1:1)
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y 0.25 °.
U.N.A.M.
OSIRIS
CS1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS

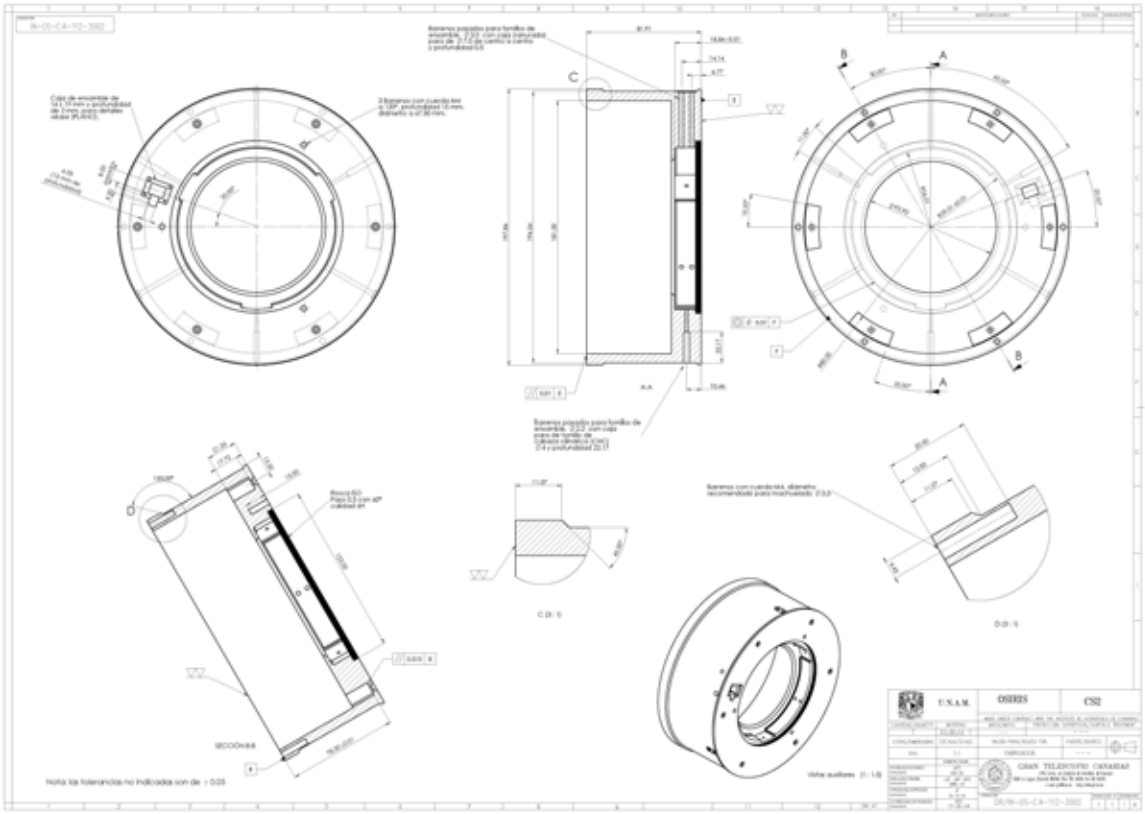

IN-OS-CA-112-2004
B
A
A-A
B (10 : 1)
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP1S1
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AluMold 1
54 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
1:1
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-2004

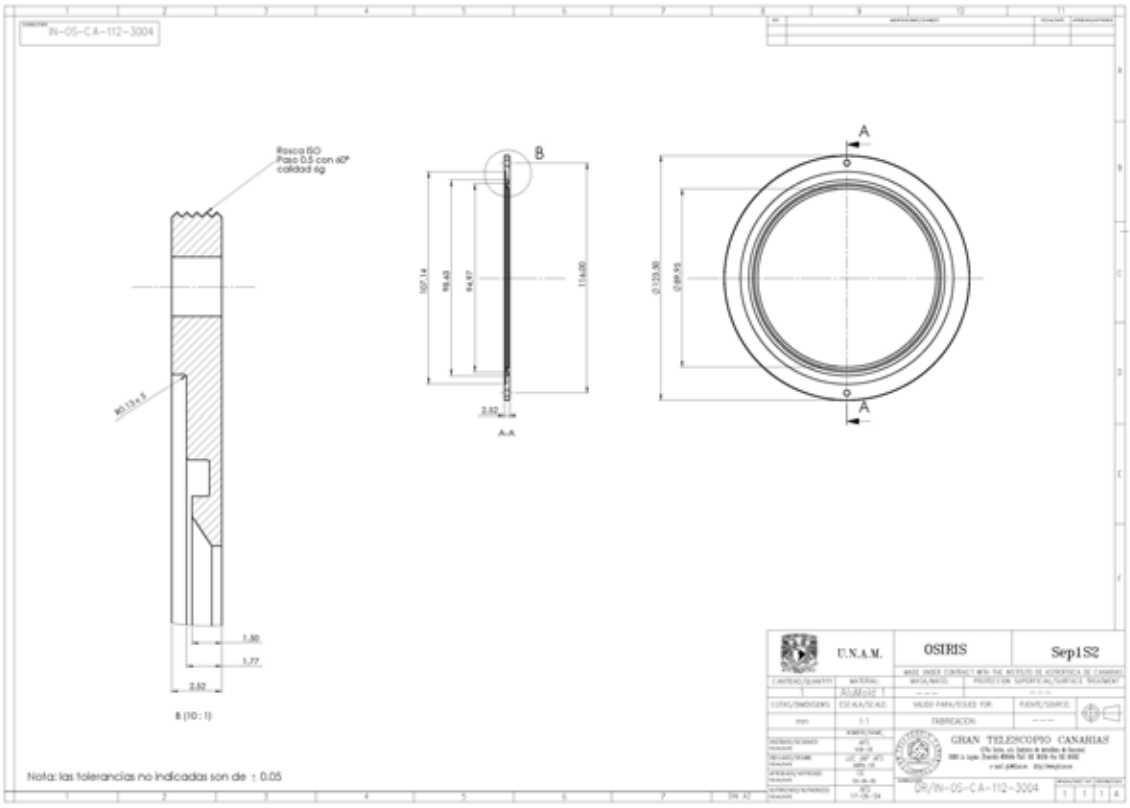

IN-OS-CA-112-2005
C
C
Ø129.18
Ø160.50
3.00
Rosca ISO
Paso 0.5 con 60°
calidad 6g
C-C
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP2S1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AluMold 1
51 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
1:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-2005

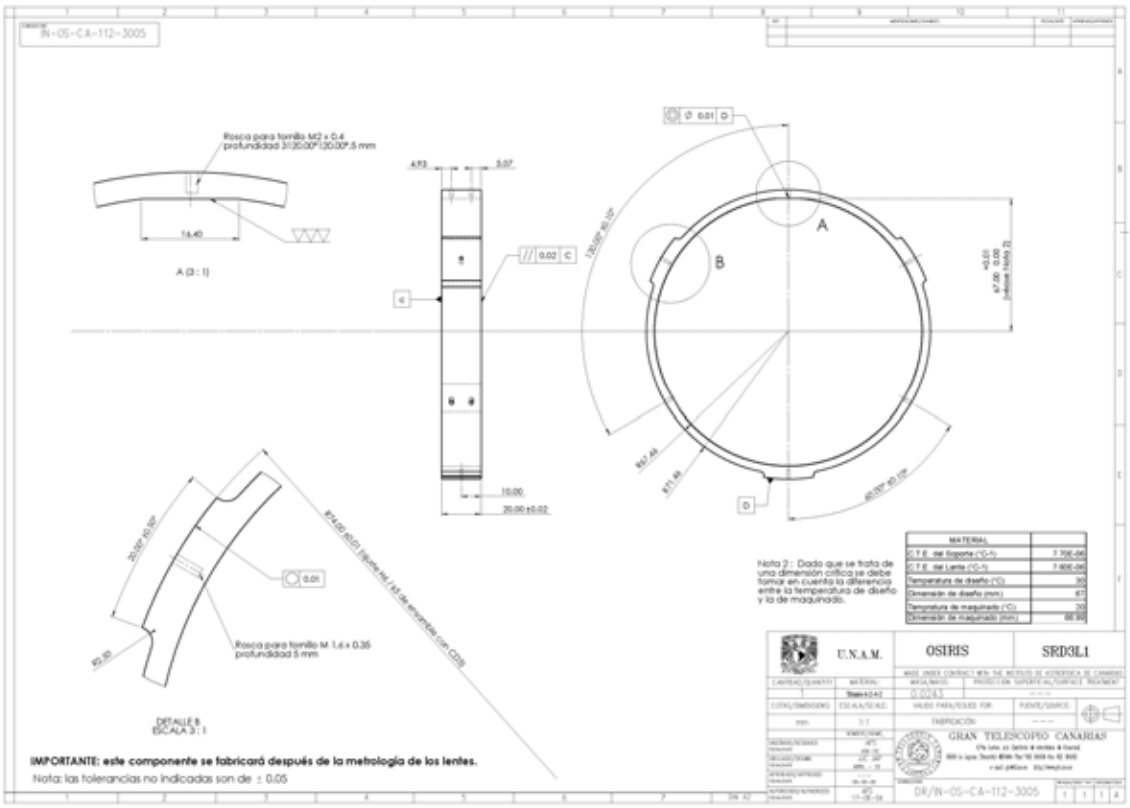

IN-OS-CA-112-2006
30.00
21.00
5.00
13.00
7.00
24.00
26.00
R3.00
R1.00
10.00
6.00
R1.00
14.00
8.00
6.00
8.00
11.00
7.00
6.00
Vista Isométrica
Nota: las referencias no indicadas son de 0.05 mm.
matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Reference CS1
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
2
AISI 4140
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
2:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-2006
DIN A3

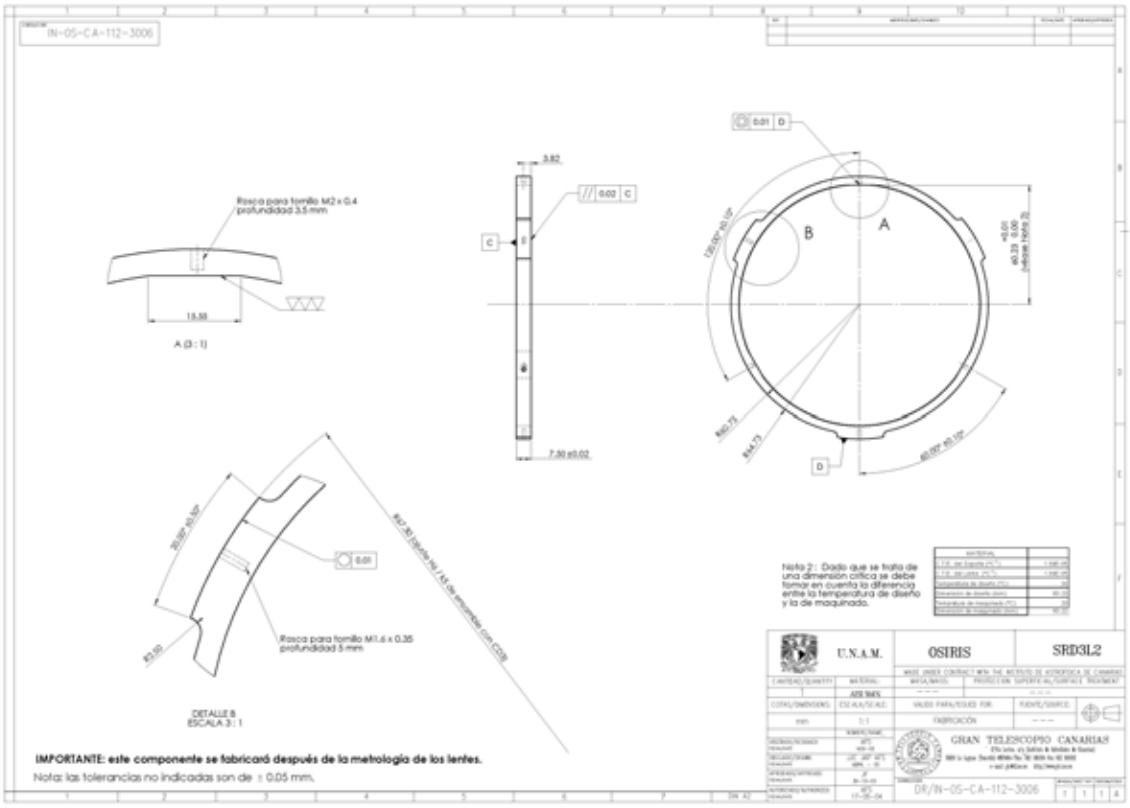

IN-OS-CA-112-2007
0.25
Laina de 0.25 mm
Ø159.00
Ø159.16
Nota: las referencias no indicadas son de 0.05 mm.
Matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Laina S1
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Papel Negro
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-2007
DIN A3

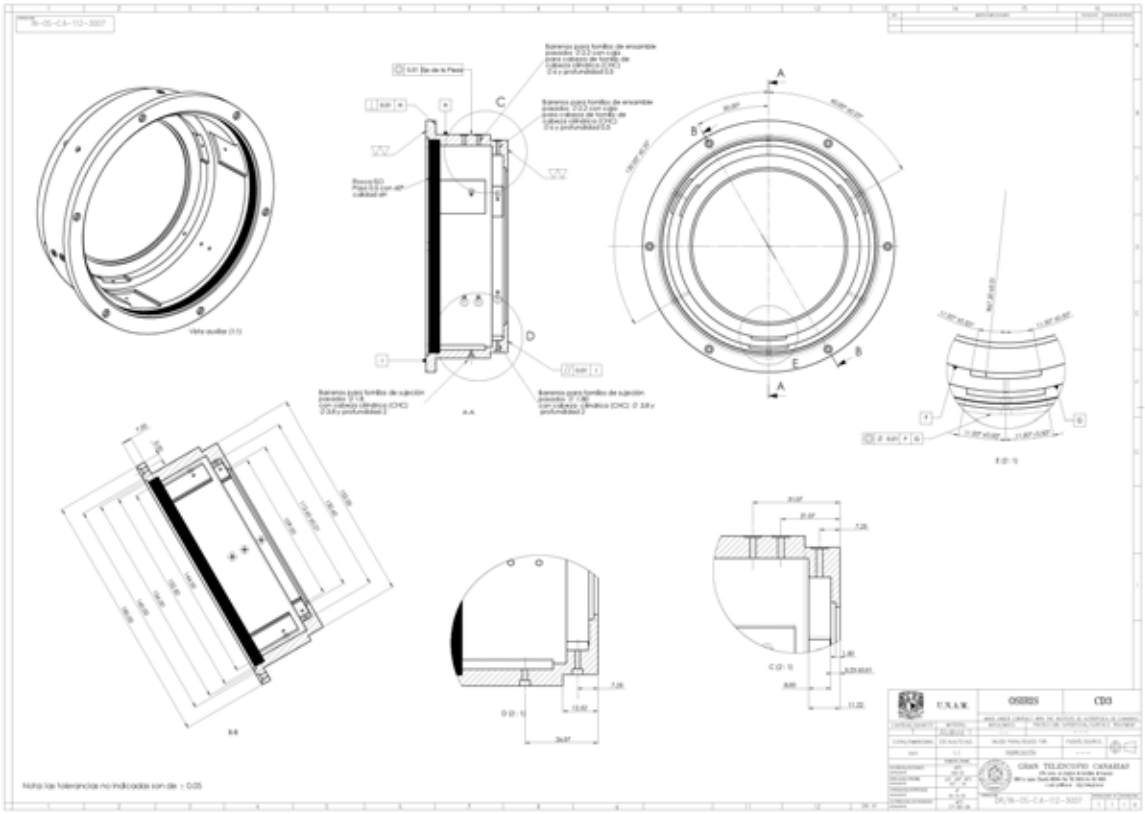

IN-OS-CA-112-3001
Rosca para tornillo M2 x 0.4 profundidad 2.5 mm
A (2 : 1)
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Rosca para tornillo M1.6 x 0.35 profundidad 5 mm
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm. Matar filos.
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
U.N.A.M.
OSIRIS
SRS2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-3001

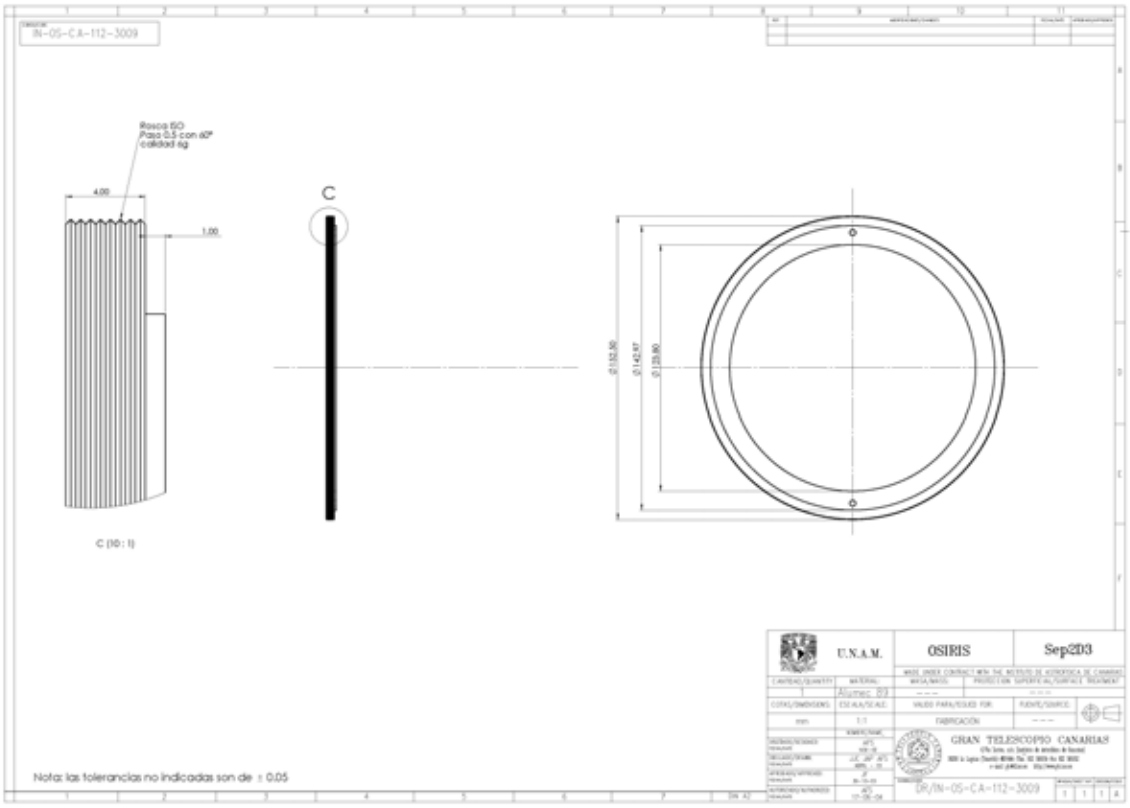

IN-OS-CA-112-3002
SECCIÓN B-B
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05
U.N.A.M.
OSIRIS
CS2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-3002

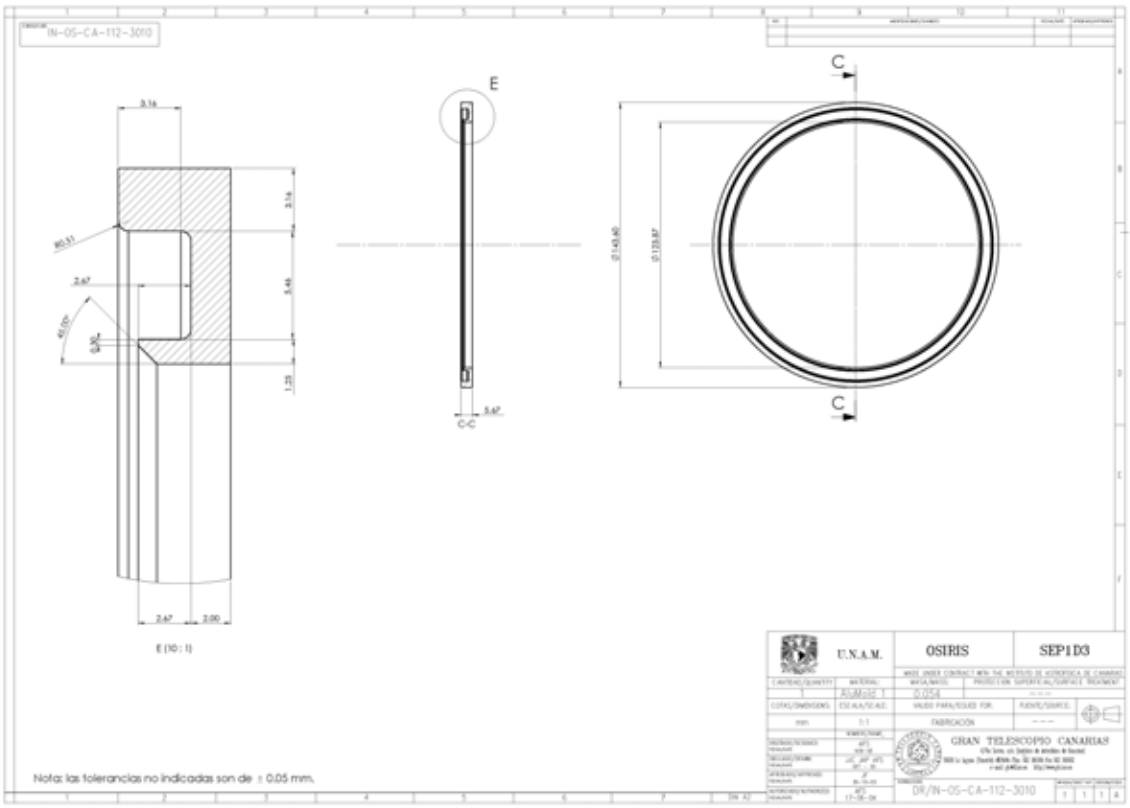

IN-OS-CA-112-3004
Rosca ISO
Paso 0.5 con 60°
calidad 6g
B
A
A-A
B (10 : 1)
U.N.A.M.
OSIRIS
Sep1S2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-3004
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

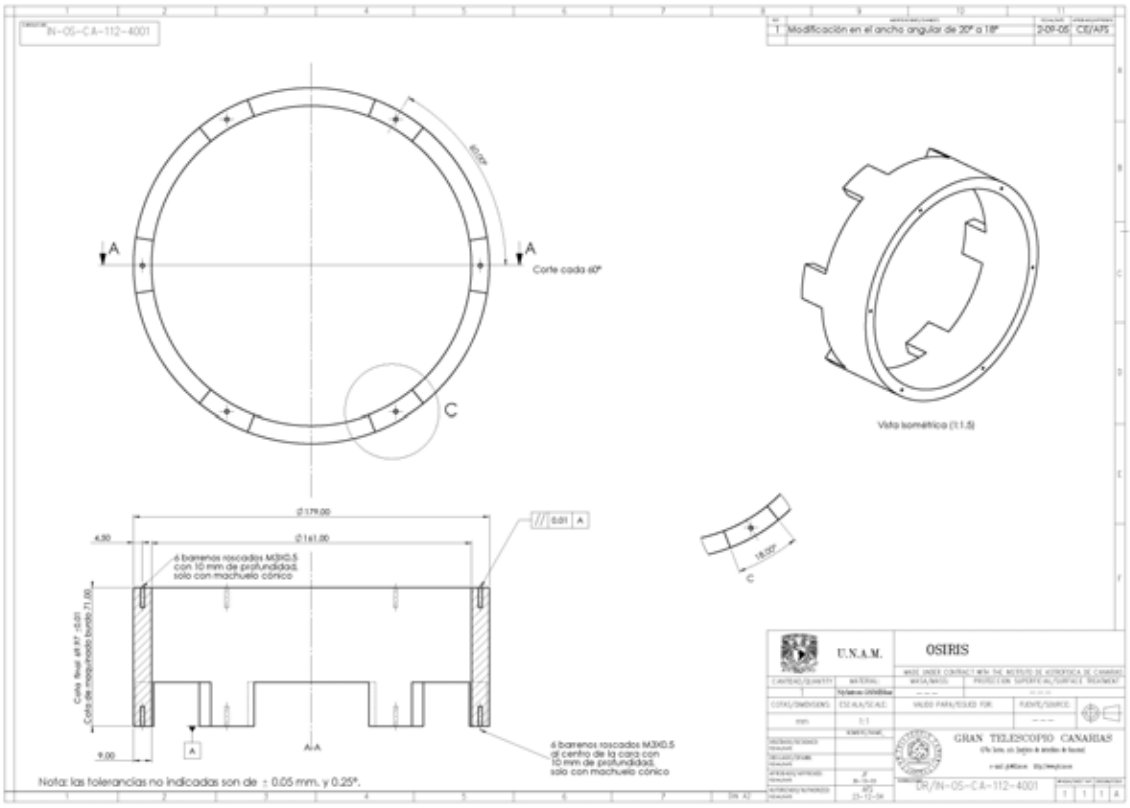

IN-OS-CA-112-3005
Rosca para tornillo M2 x 0.4
profundidad 3/120.00°/120.00° 5 mm
A (2 : 1)
A
B
C
D
Rosca para tornillo M 1.6 x 0.35
profundidad 5 mm
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Nota 2 : Dado que se trata de una dimensión crítica se debe tomar en cuenta la diferencia entre la temperatura de diseño y la de maquinado.
MATERIAL
C.T.E. del Soporte (°C-1) 7.70E-06
C.T.E. del Lente (°C-1) 7.60E-06
Temperatura de diseño (°C) 30
Dimensión de diseño (mm) 67
Temperatura de maquinado (°C) 20
Dimensión de maquinado (mm) 66.99
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD3L1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-3005
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

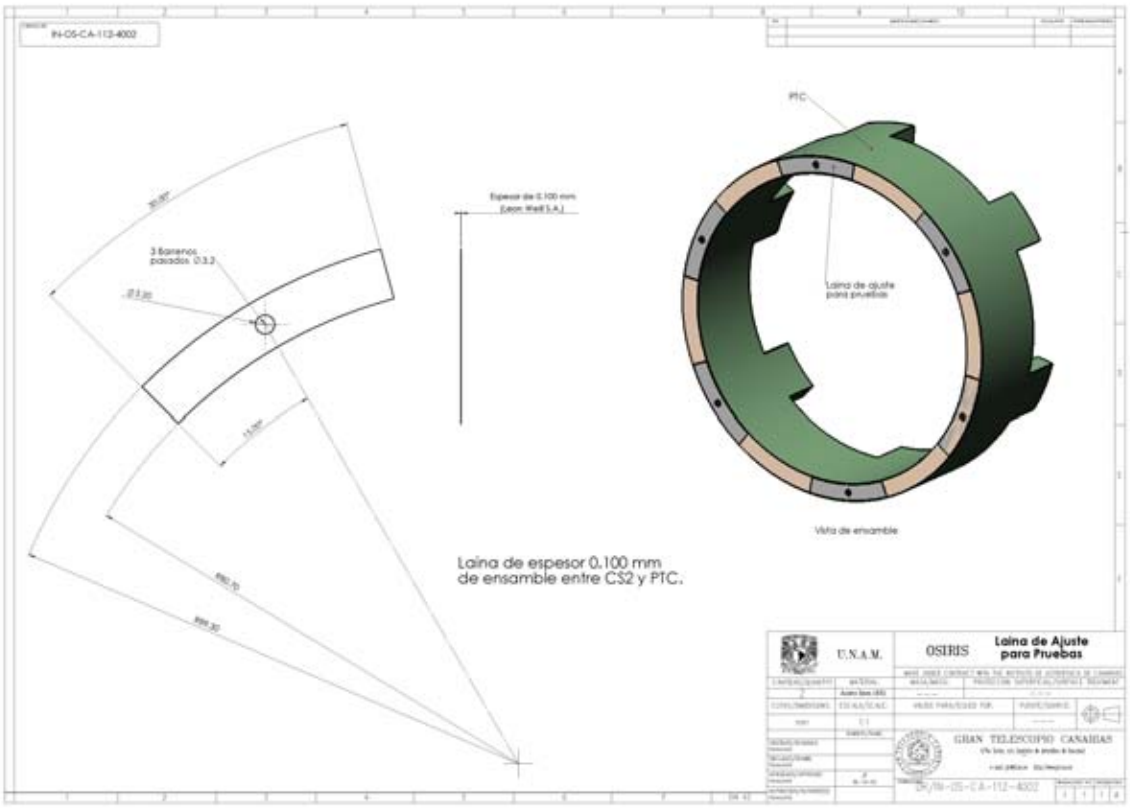

IN-05-CA-112-3006
Rosca para tornillo M2 x 0.4 profundidad 3.5 mm
A (3 : 1)
3.82
7.50 ±0.02
B
A
D
DETALLE B
ESCALA 3 : 1
Rosca para tornillo M1.6 x 0.35 profundidad 3 mm
IMPORTANTE: este componente se fabricará después de la metrología de los lentes.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
U.N.A.M.
OSIRIS
SRD3L2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-3006

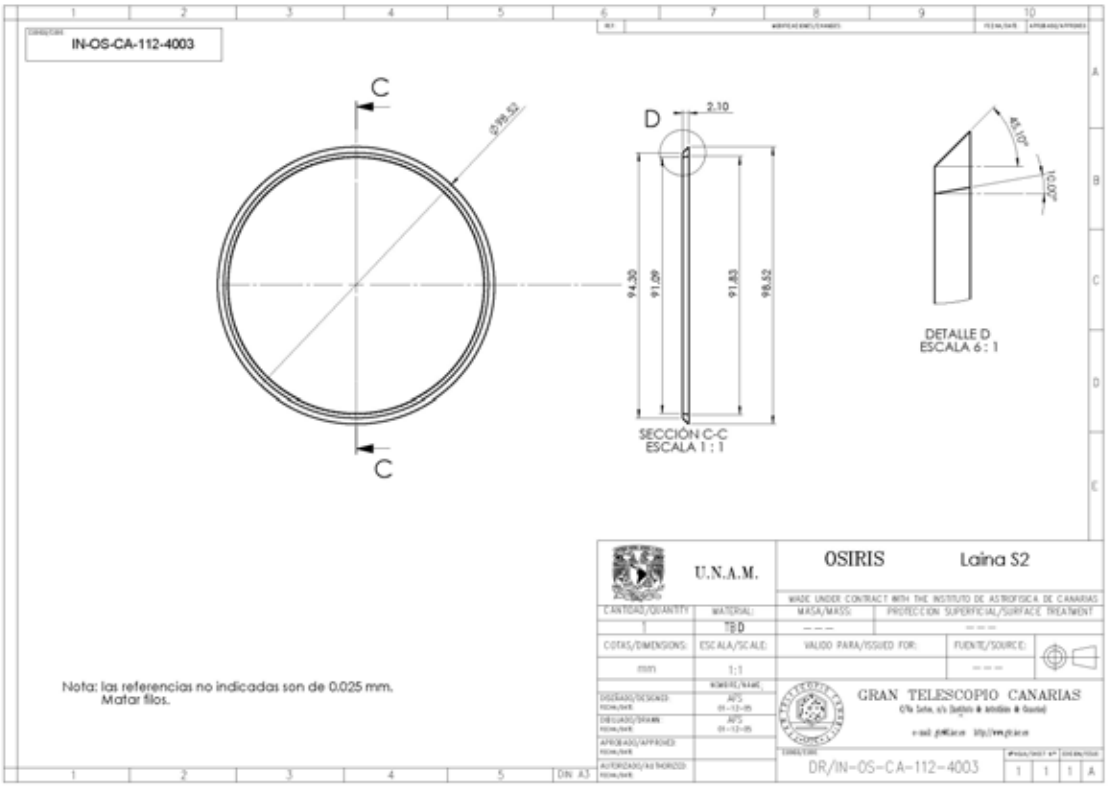

IN-05-CA-112-3007
Vista auxiliar (1:1)
A-A
B-B
C-C (1:1)
D-D (1:1)
E-E (1:1)
U.N.A.M.
OSIRIS
CD3
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-3007

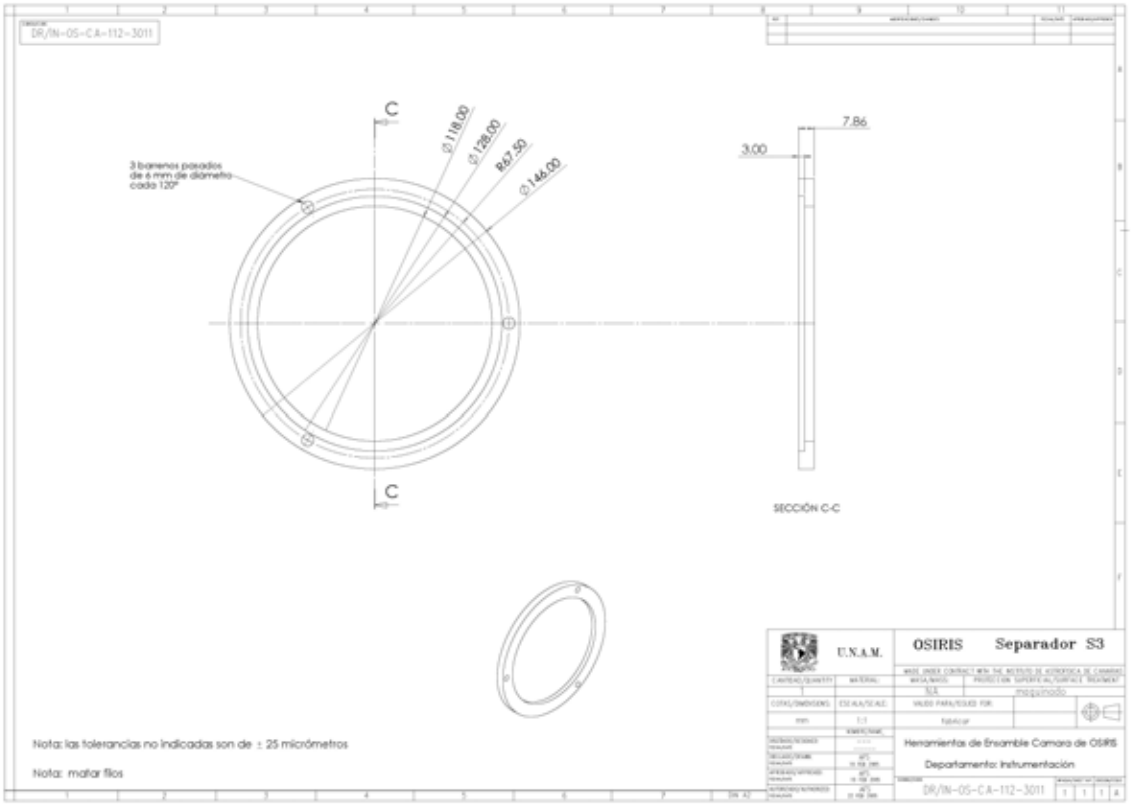

IN-05-CA-112-3009
Rosca ISO
Paso 0.5 con 60°
calidad 6g
4.00
1.00
C
C (10 : 1)
U.N.A.M.
OSIRIS
Sep2D3
Aluminio 2D3
1:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-3009
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05

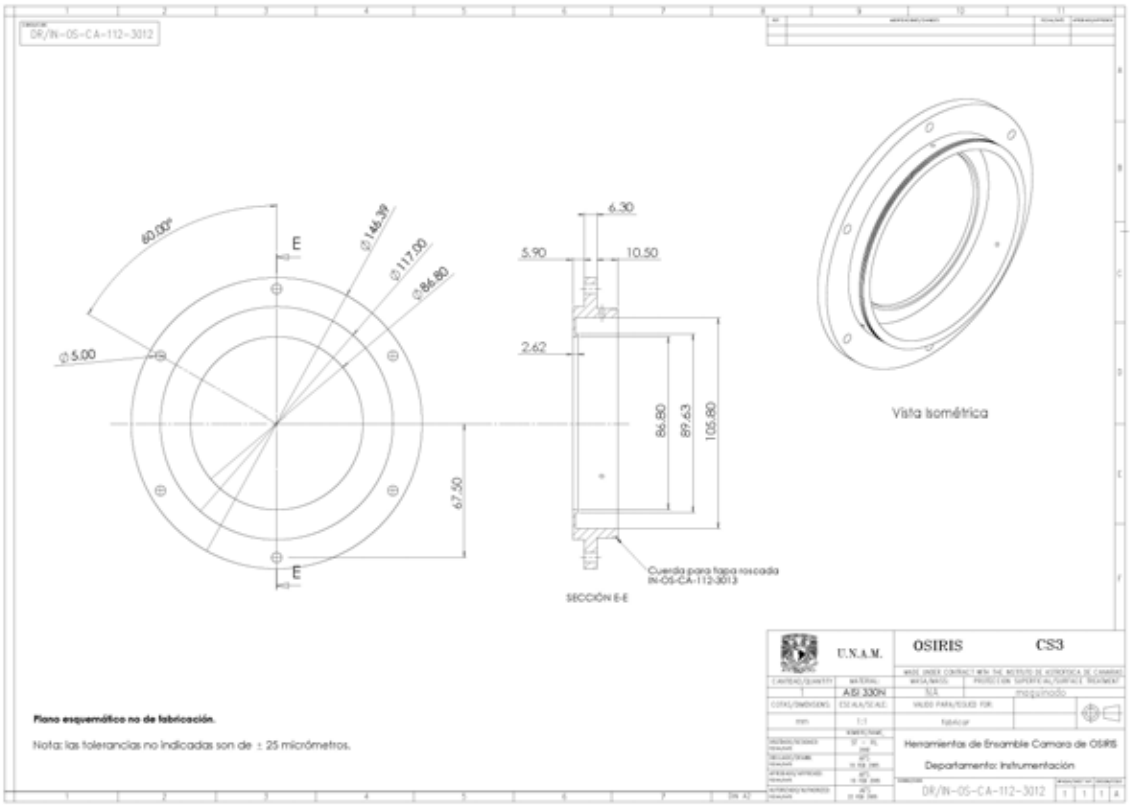

IN-05-CA-112-3010
3.16
E
C
C-C
E (10 : 1)
U.N.A.M.
OSIRIS
SEP1D3
AlMg0.5
0.054
1:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-3010
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

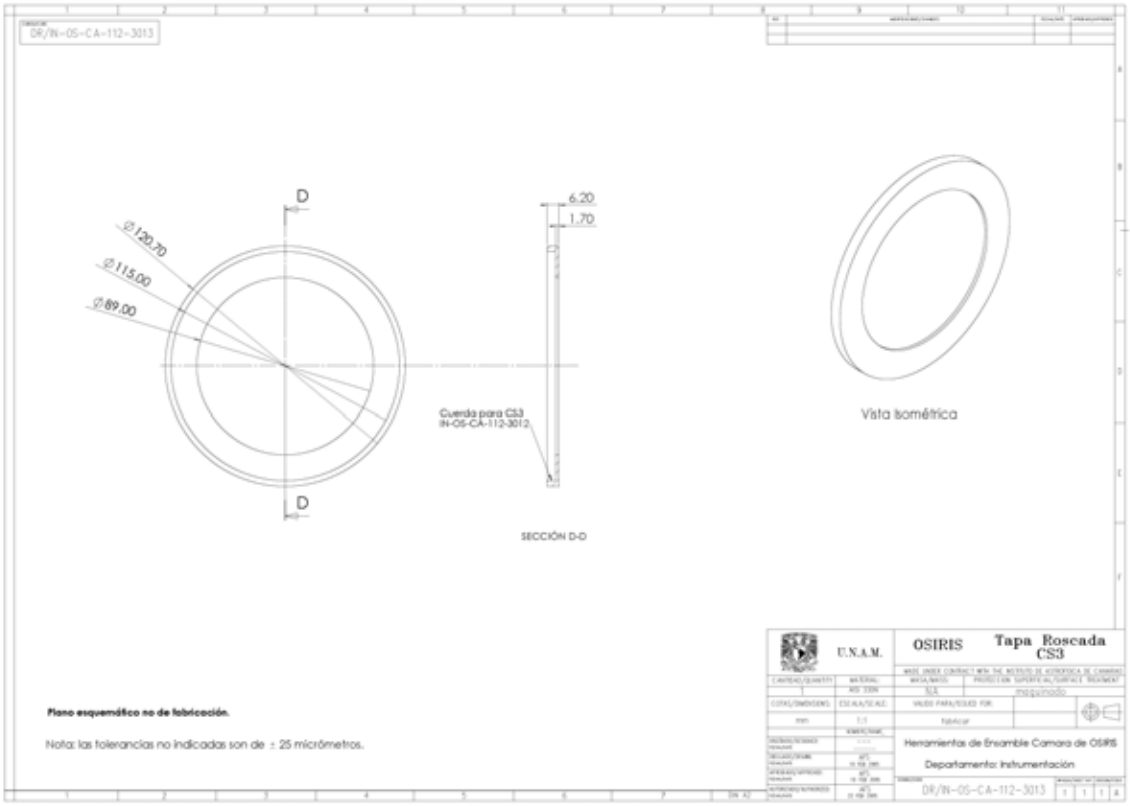

IN-05-CA-112-4001
1 Modificación en el ancho angular de 20° a 18°
2-09-05 CE/APS
Corte cada 60°
Vista isométrica (1:1.5)
Ø179.00
Ø161.00
4.50
6 barrenos roscados M3X0.5 con 10 mm de profundidad, solo con machuelo cónico
Cara final ø8.97 -0.01
Cara de maquinado bordes 71.00
9.00
A-A
0.01 A
18.00°
C
6 barrenos roscados M3X0.5 al centro de la cara con 10 mm de profundidad, solo con machuelo cónico
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm. y 0.25°.
U.N.A.M.
OSIRIS
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-4001

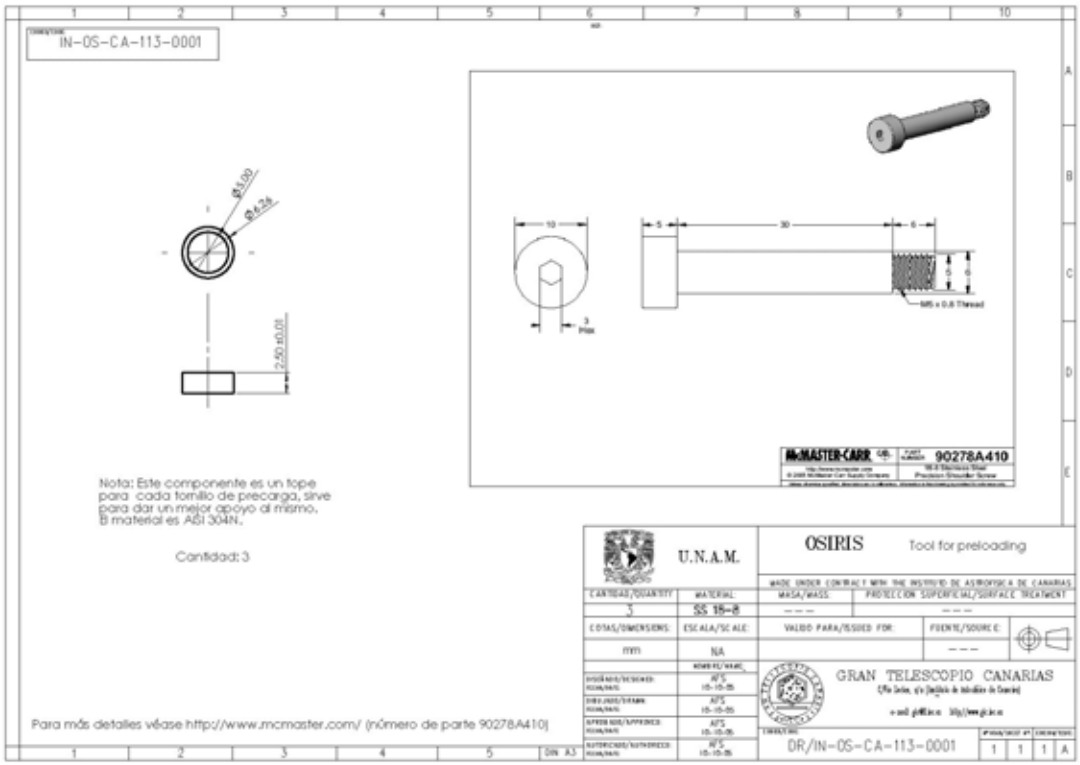

IN-05-CA-112-4002
30.00°
3 Barrenos pasados Ø3.2
Ø3.20
15.00°
R80.70
R99.30
Espesor de 0.100 mm (Jean Wall S.A.)
PTC
Laina de ajuste para pruebas
Vista de ensamble
Laina de espesor 0.100 mm de ensamble entre CS2 y PTC.
U.N.A.M.
OSIRIS
Laina de Ajuste para Pruebas
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-112-4002

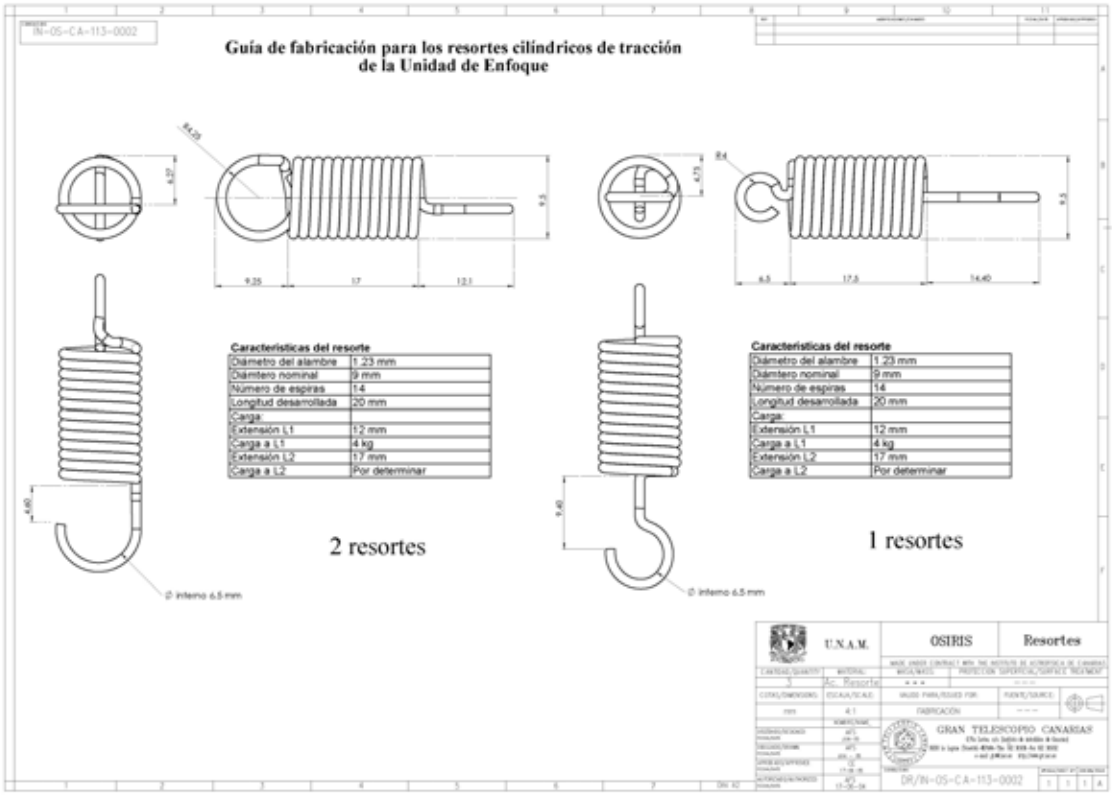

IN-OS-CA-112-4003
C
Ø98.52
D
2.10
94.30
91.09
91.83
98.52
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 1
46.10°
10.00°
DETALLE D
ESCALA 6 : 1
U.N.A.M.
OSIRIS
Laina S2
TBD
mm
1:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-112-4003
Nota: las referencias no indicadas son de 0.025 mm.
Matar filos.

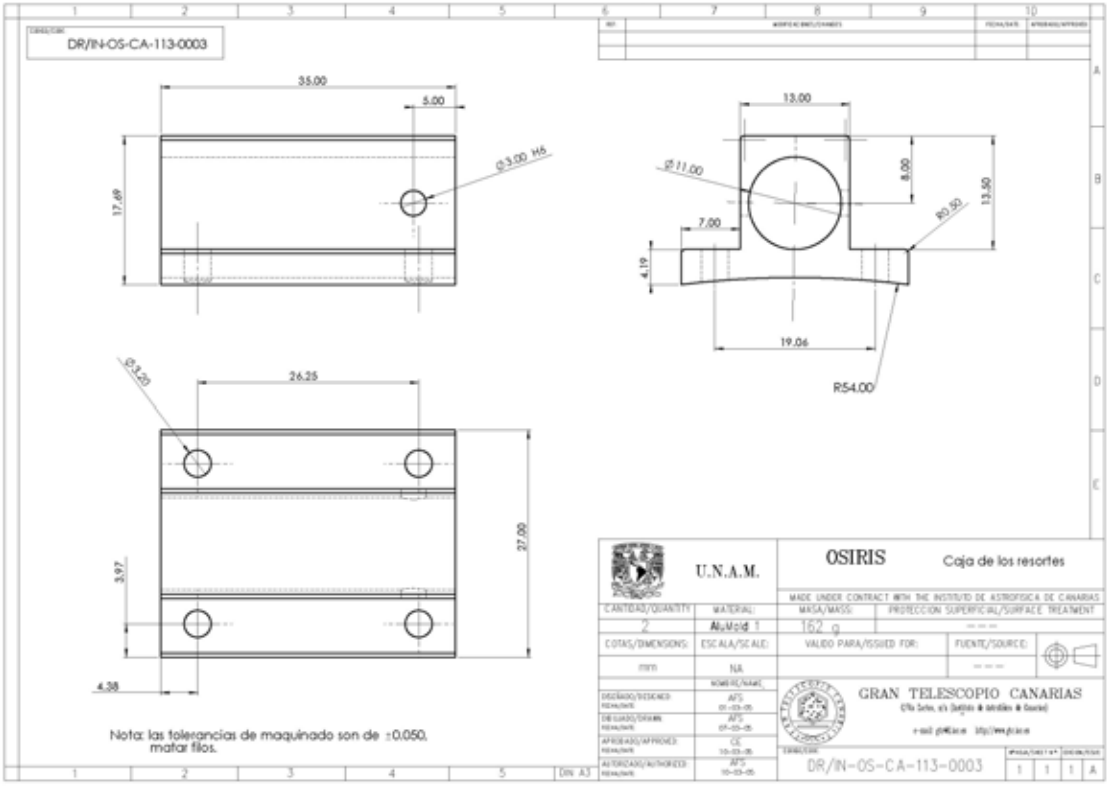

DR/IN-OS-CA-112-3011
C
3 barrenos pasados
de 6 mm de diámetro
cada 120°
Ø118.00
Ø128.00
R67.50
Ø146.00
7.86
3.00
SECCIÓN C-C
U.N.A.M.
OSIRIS
Separador S3
Herramientas de Ensamble Camara de OSIRIS
Departamento: Instrumentación
DR/IN-OS-CA-112-3011
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 25 micrómetros
Nota: matar filos

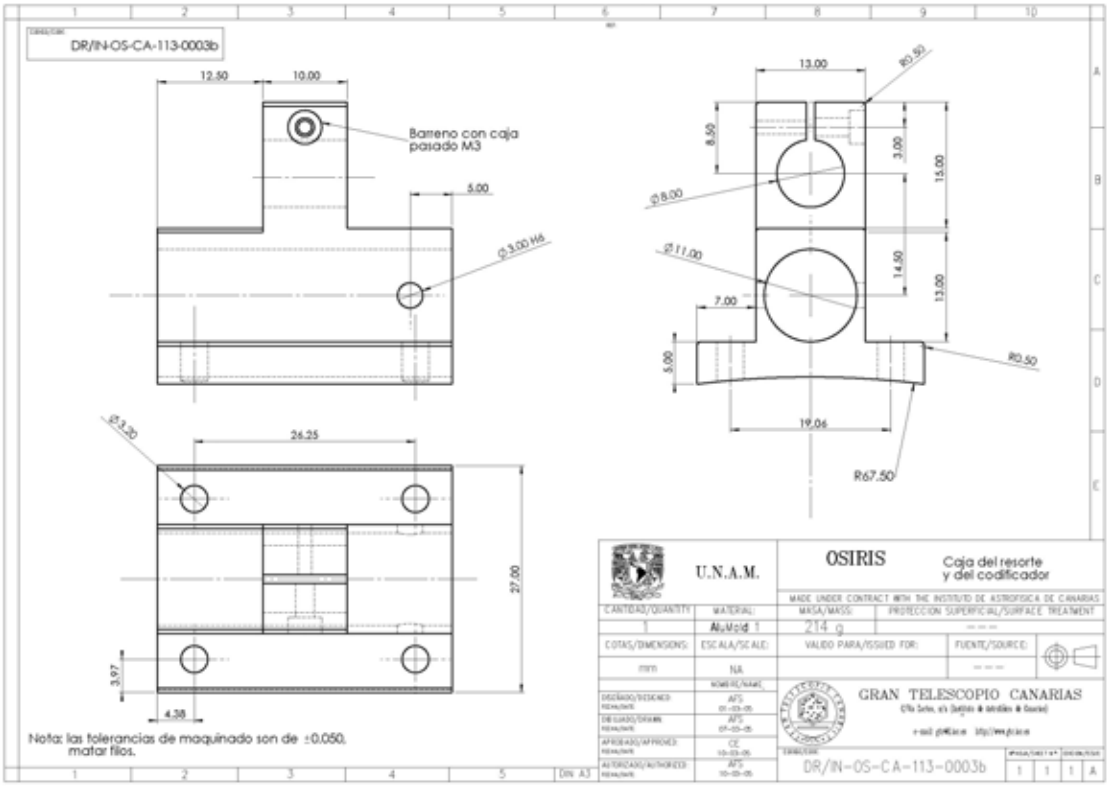

DR/IN-OS-CA-112-3012
60.00°
E
Ø146.30
Ø117.00
Ø86.80
Ø5.00
67.50
6.30
5.90
10.50
2.62
86.80
89.63
105.80
Cuerda para tapa roscada
IN-OS-CA-112-3013
SECCIÓN E-E
Vista isométrica
U.N.A.M.
OSIRIS
CS3
AISI 330N
SLS
maquinado
Herramientas de Ensamble Camara de OSIRIS
Departamento: Instrumentación
DR/IN-OS-CA-112-3012
Plano esquemático no de fabricación.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 25 micrómetros.

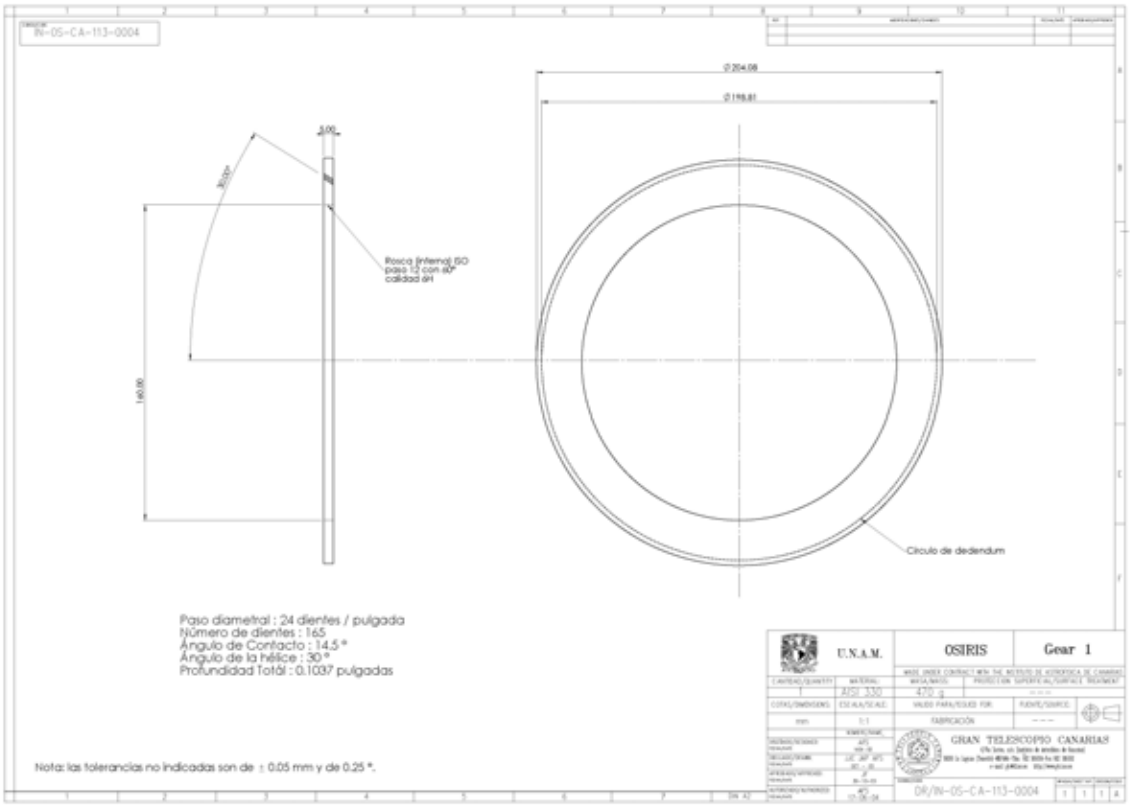

DR/IN-OS-CA-112-3013
D
Ø120.70
Ø115.00
Ø89.00
6.20
1.70
Cuerda para CS3
IN-OS-CA-112-3012
SECCIÓN D-D
Vista isométrica
U.N.A.M.
OSIRIS
Tapa Roscada
CS3
AISI 330N
SLS
maquinado
Herramientas de Ensamble Camara de OSIRIS
Departamento: Instrumentación
DR/IN-OS-CA-112-3013
Plano esquemático no de fabricación.
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 25 micrómetros.

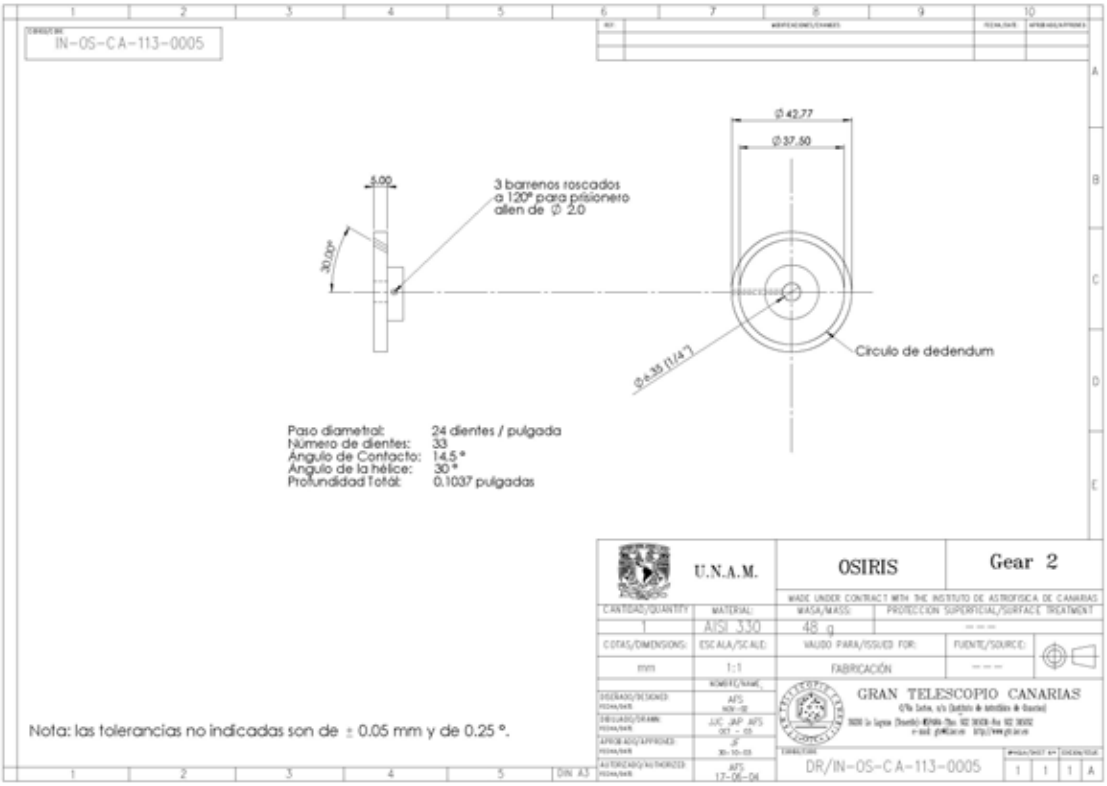

IN-OS-CA-113-0001
Nota: Este componente es un tope para cada tornillo de precarga, sirve para dar un mejor apoyo al mismo. El material es AISI 304N.
Cantidad: 3
Para más detalles véase http://www.mcmaster.com/ (número de parte 90278A410)
McMASTER-CARR
90278A410
U.N.A.M.
OSIRIS
Tool for preloading
SS 18-8
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0001

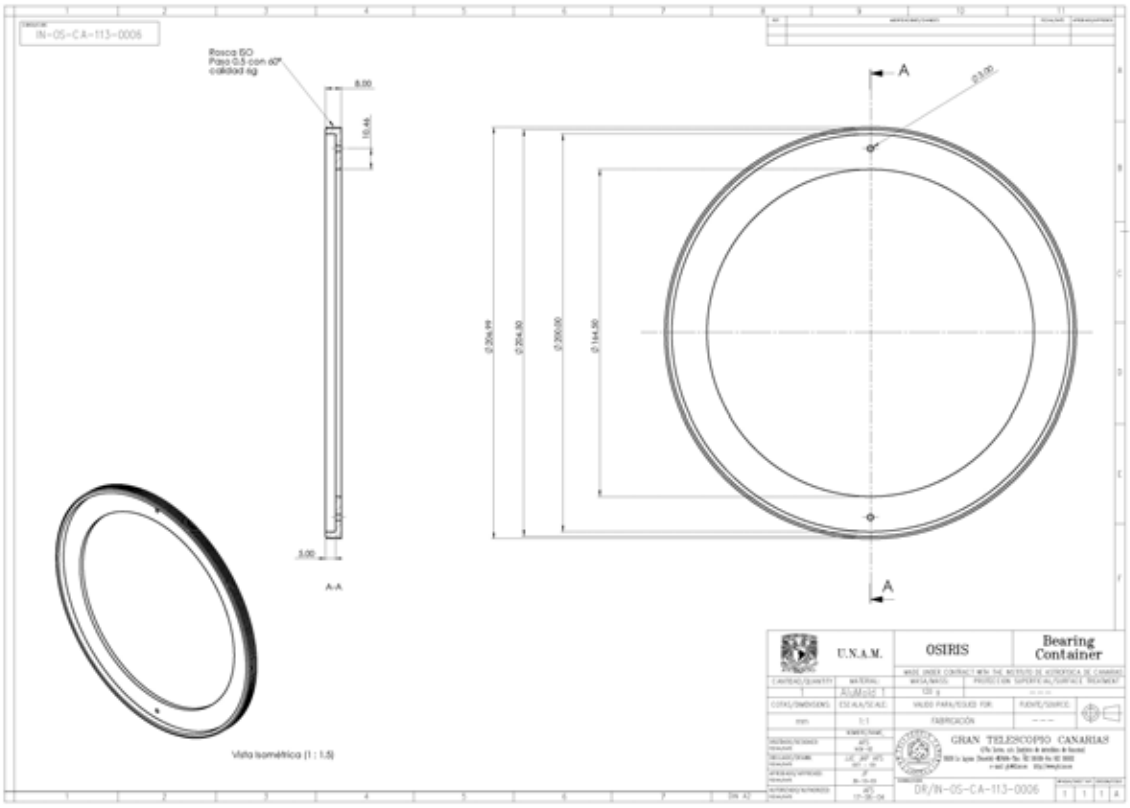

IN-OS-CA-113-0002
Guía de fabricación para los resortes cilíndricos de tracción de la Unidad de Enfoque
Características del resorte
Diámetro del alambre 1.23 mm
Diámtero nominal 9 mm
Número de espiras 14
Longitud desarrollada 20 mm
Carga:
Extensión L1 12 mm
Carga a L1 4 kg
Extensión L2 17 mm
Carga a L2 Por determinar
2 resortes
1 resortes
Ø interno 6.5 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Resortes
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0002

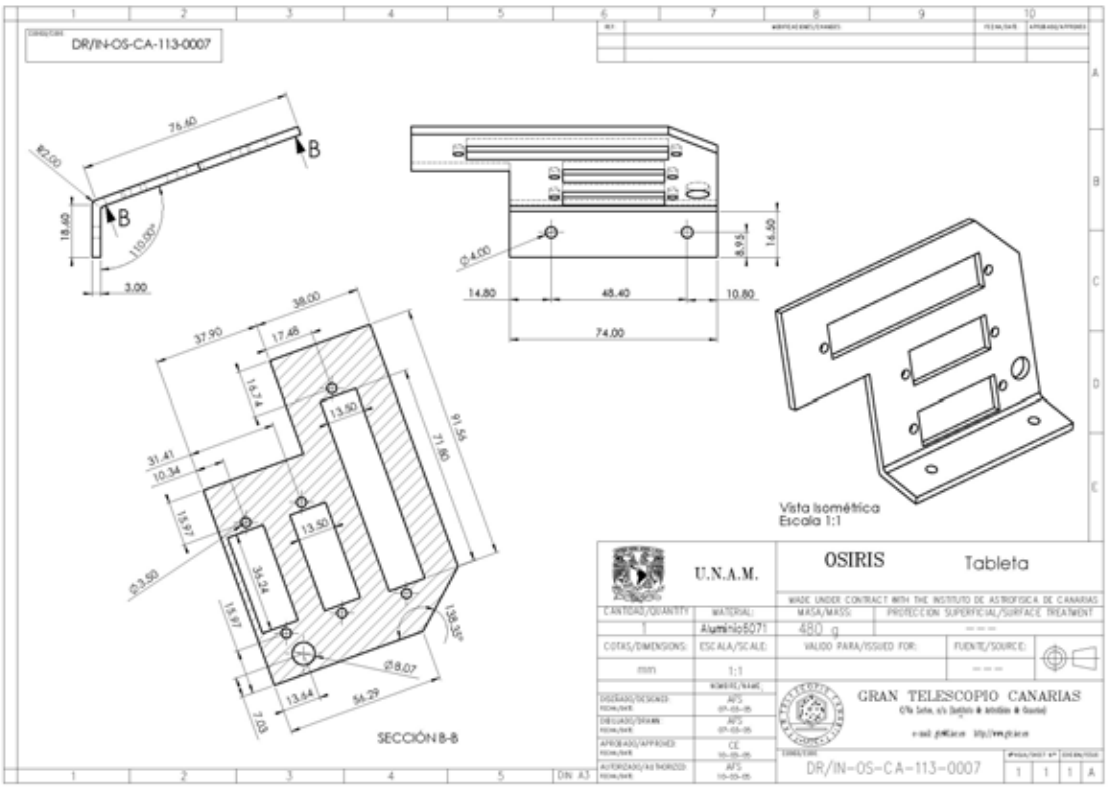

DR/IN-OS-CA-113-0003
35.00
5.00
Ø3.00 H6
17.69
13.00
Ø11.00
8.00
13.50
R0.50
7.00
4.19
19.06
R54.00
Ø3.20
26.25
27.00
3.97
4.38
Nota: las tolerancias de maquinado son de ±0.050, matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Caja de los resortes
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
2
Al6Mold 1
162 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0003
DIN A3

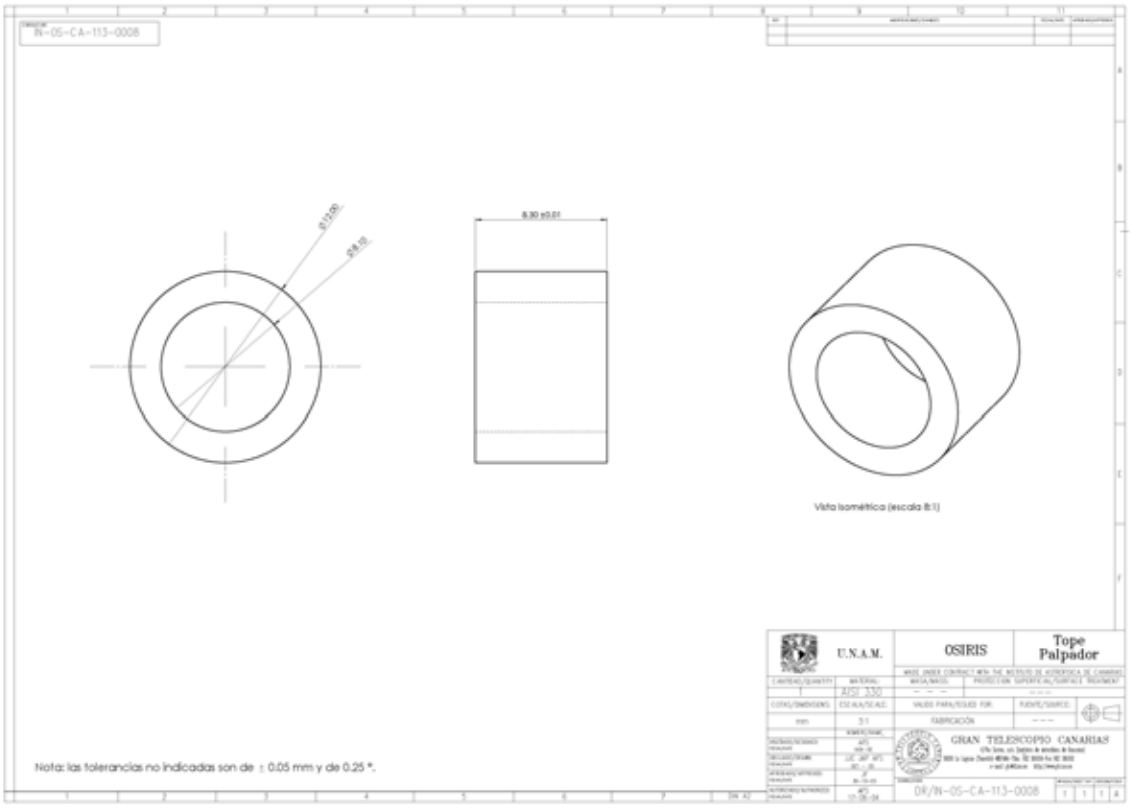

DR/IN-OS-CA-113-0003b
12.50
10.00
Barreno con caja pasado M3
5.00
Ø3.00 H6
13.00
R0.50
8.50
3.00
15.00
Ø8.00
Ø11.00
14.50
13.00
7.00
5.00
R0.50
19.06
R67.50
Ø3.20
26.25
27.00
3.97
4.38
Nota: las tolerancias de maquinado son de ±0.050, matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Caja del resorte y del codificador
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Al6Mold 1
214 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0003b
DIN A3

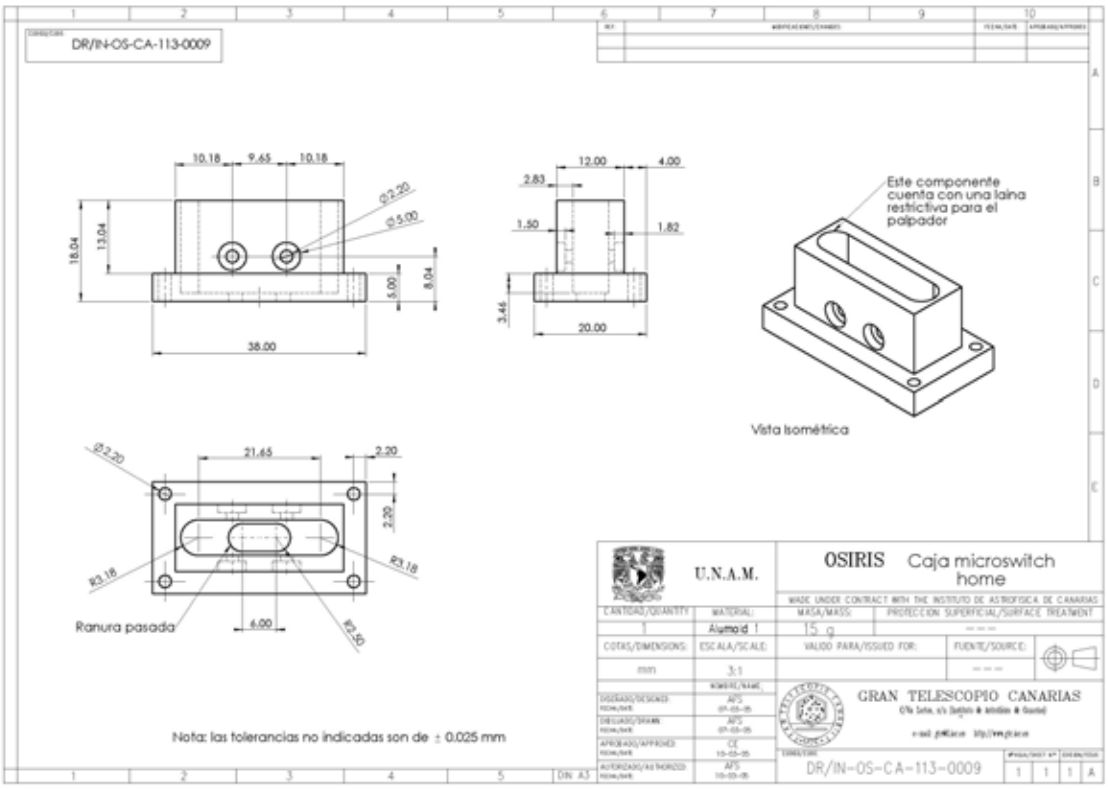

IN-OS-CA-113-0004
Ø 204.08
Ø 198.81
5.00
30.00°
Rosca (interna) ISO paso 12 con 60° calidad 6H
140.00
Círculo de dedendum
Paso diametral : 24 dientes / pulgada
Número de dientes : 165
Ángulo de Contacto : 14.5 °
Ángulo de la hélice : 30 °
Profundidad Total : 0.1037 pulgadas
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y de 0.25 °.
U.N.A.M.
OSIRIS
Gear 1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AISI 330
470 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
1:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0004
DIN A3

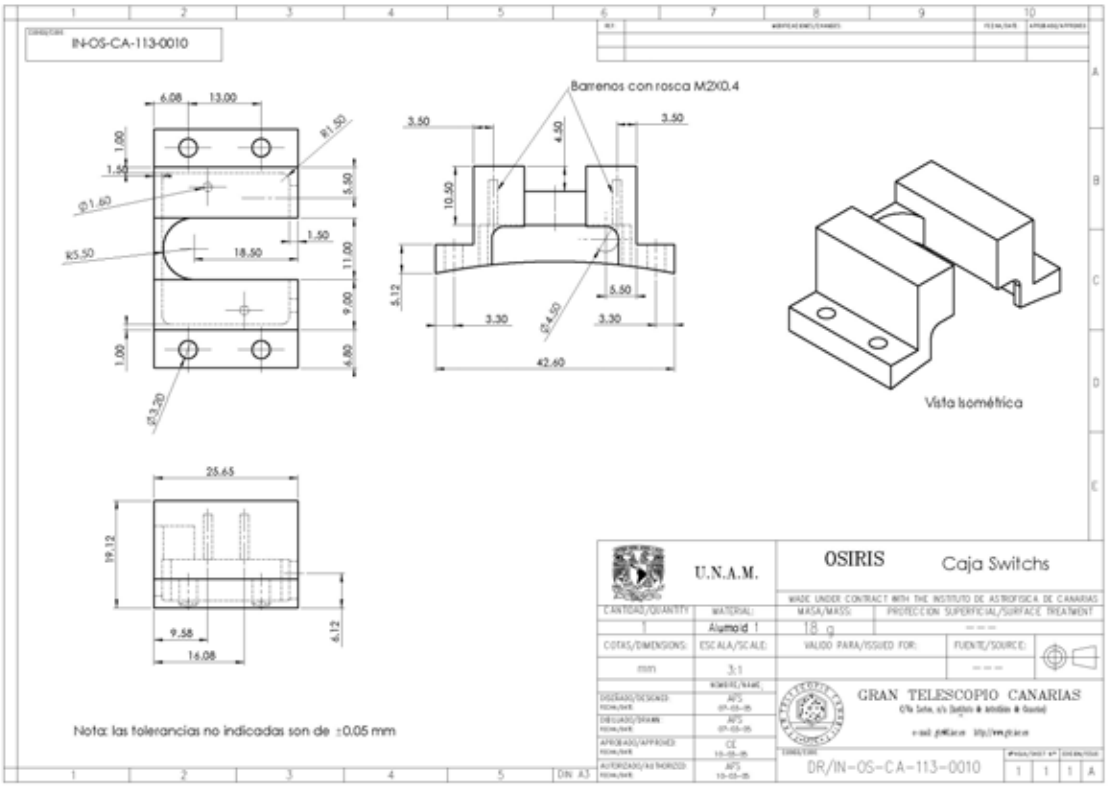

IN-OS-CA-113-0005
Ø 42.77
Ø 37.50
5.00
3 barrenos roscados a 120° para prisionero allen de Ø 2.0
30.00°
Círculo de dedendum
Paso diametral: 24 dientes / pulgada
Número de dientes: 33
Ángulo de Contacto: 14.5 °
Ángulo de la hélice: 30 °
Profundidad Total: 0.1037 pulgadas
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y de 0.25 °.
U.N.A.M.
OSIRIS
Gear 2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AISI 330
48 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
1:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0005
DIN A3

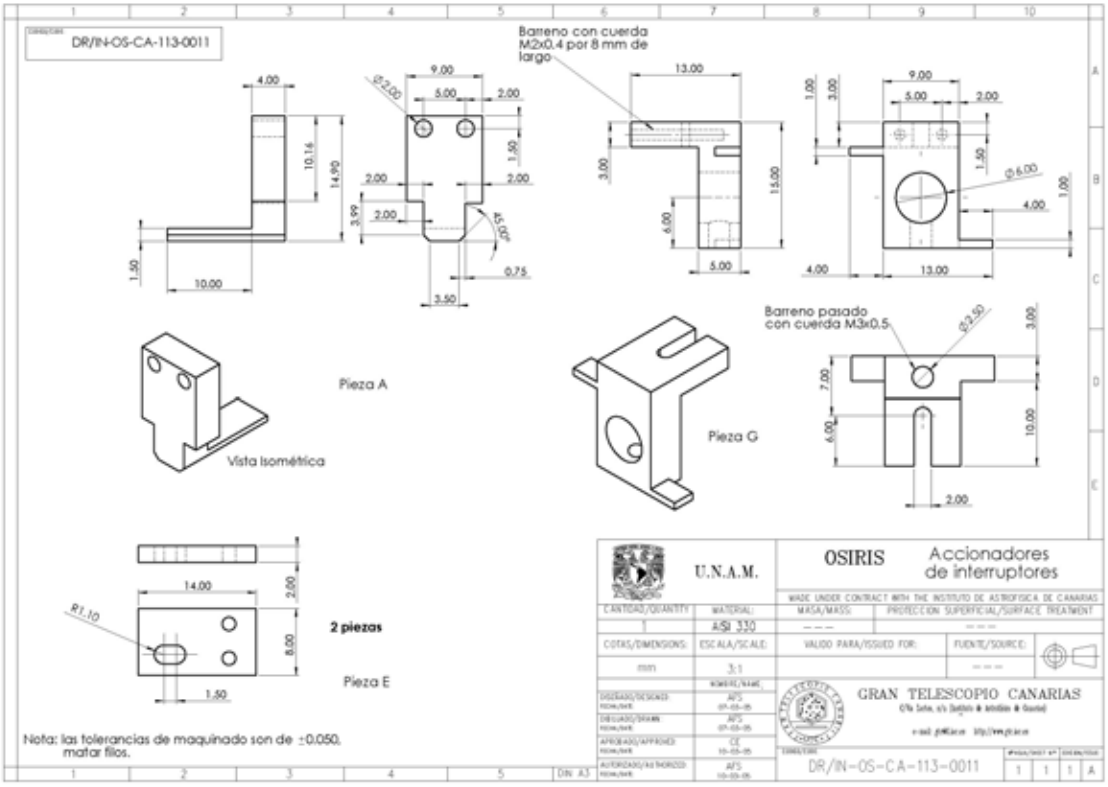

IN-OS-CA-113-0006
Rosca ISO
Paso 0.5 con 60°
calidad 6g
8.00
10.46
3.00
A-A
A
Ø3.00
Ø204.99
Ø204.80
Ø200.00
Ø144.80
Vista isométrica (1 : 1.5)
U.N.A.M.
OSIRIS
Bearing Container
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCIÓN SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
AlMgSi 1
131 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0006
1 1 1 A

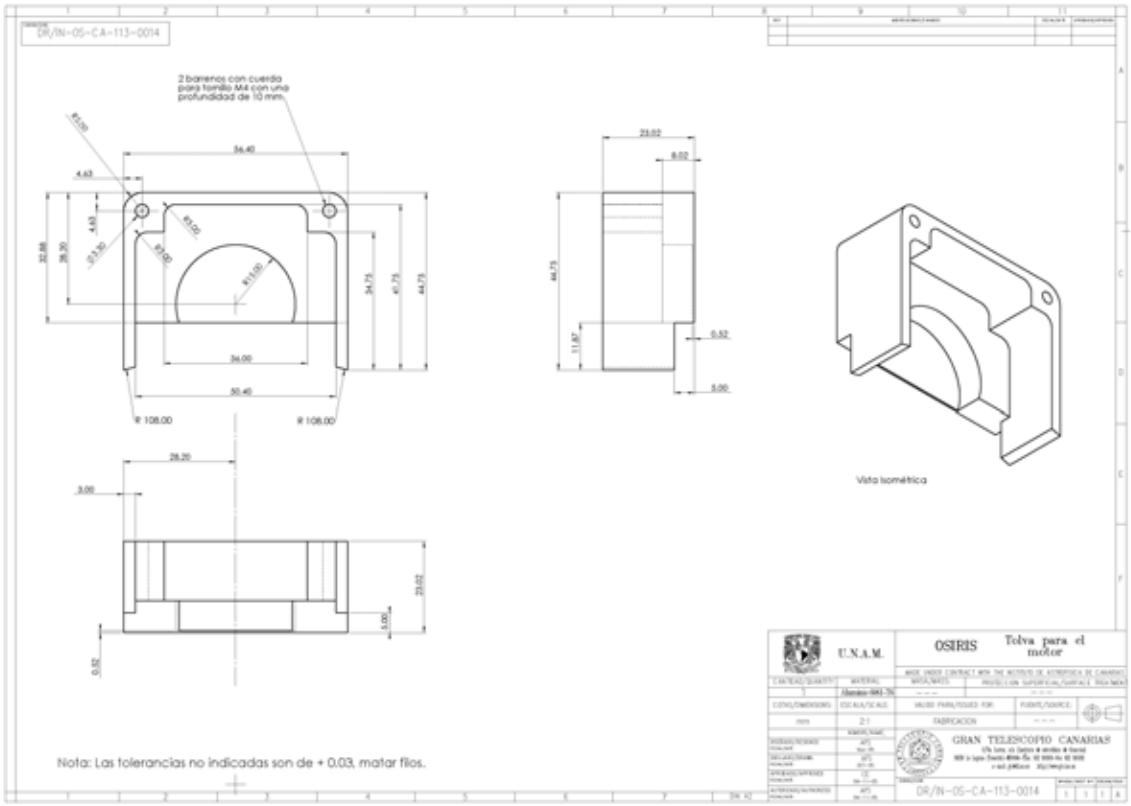

DR/IN-OS-CA-113-0007
76.40
Ø2.00
B
B
18.60
110.00°
3.00
Ø4.00
8.95
14.50
14.80
48.40
10.80
74.00
38.00
37.90
17.48
16.74
13.50
91.55
71.80
31.41
10.34
15.97
13.50
Ø3.50
34.24
15.97
138.35°
Ø8.07
13.64
54.29
7.03
SECCIÓN B-B
Vista isométrica
Escala 1:1
U.N.A.M.
OSIRIS
Tableta
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCIÓN SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Aluminio5071
480 g
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
APS
07-05-05
DIBUJADO/DRAWN
APS
07-05-05
APROBADO/APPROVED
CE
10-05-05
AUTORIZADO/AUTHORIZED
APS
10-05-05
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0007
1 1 1 A
DIN A3

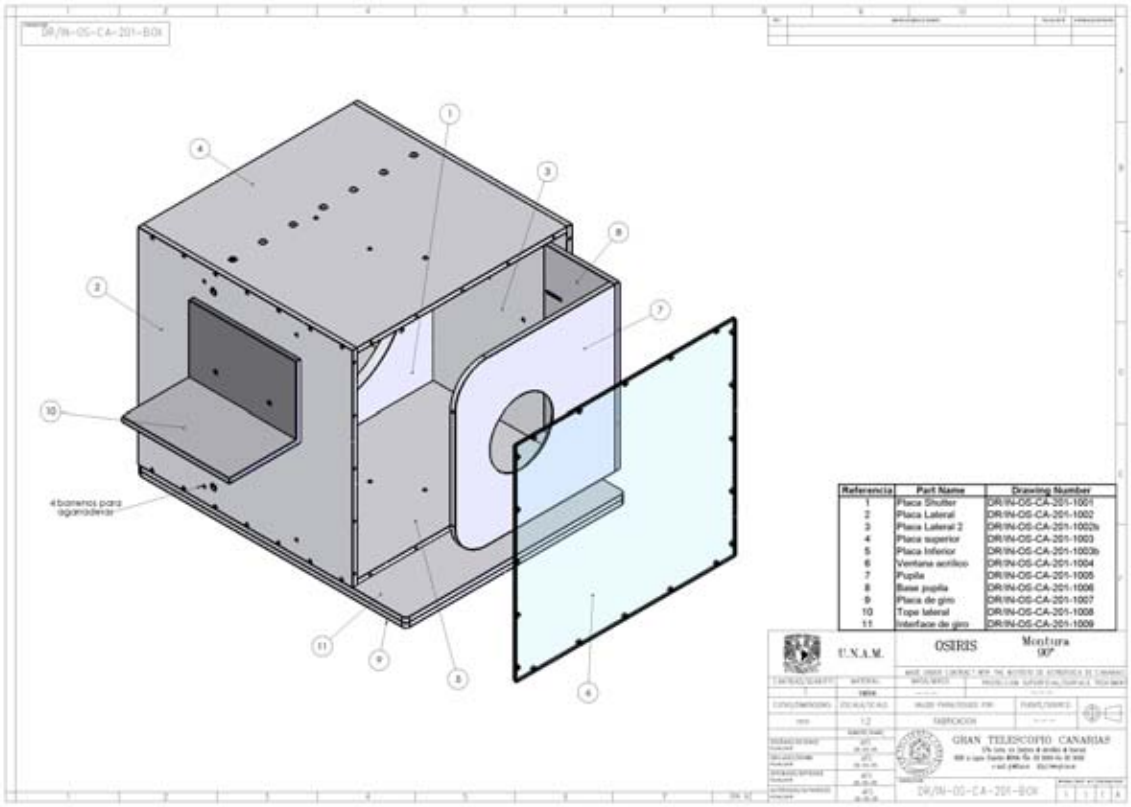

IN-OS-CA-113-0008
Ø12.00
Ø8.10
8.30 ±0.01
Vista isométrica (escala 8:1)
U.N.A.M.
OSIRIS
Tope Palpador
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCIÓN SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Aluminio 1
15 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VÁLIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
3:1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0008
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y de 0.25 °.


DR/IN-OS-CA-113-0009
10.18
9.65
10.18
Ø2.20
Ø5.00
18.04
13.04
5.00
8.04
38.00
12.00
4.00
2.83
1.50
1.82
3.46
20.00
Este componente cuenta con una laina restictiva para el palpador
Vista isométrica
Ø2.20
21.65
2.20
2.20
R3.18
R3.18
Ranura pasada
6.00
R2.50
U.N.A.M.
OSIRIS Caja microswitch home
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCIÓN SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Aluminio 1
15 g
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VÁLIDO PARA/ISSUED FOR
FUENTE/SOURCE
mm
3:1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0009
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.025 mm

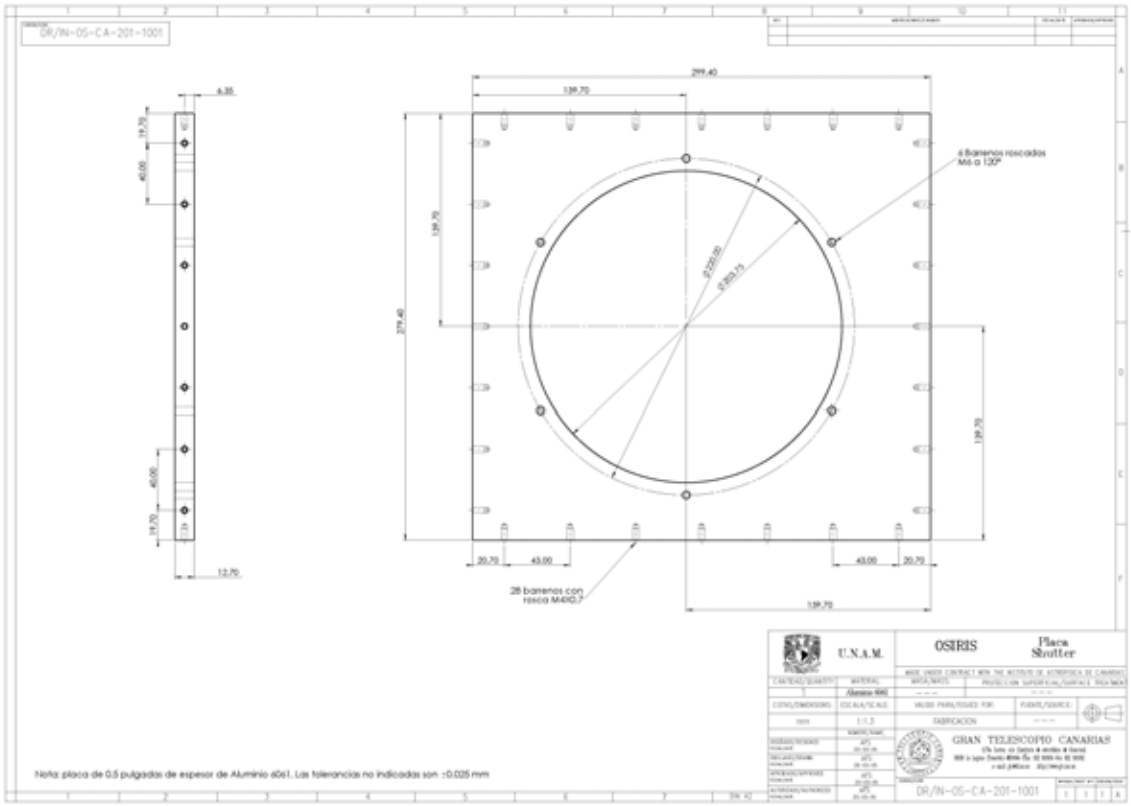

IN-OS-CA-113-0010
Barrenos con rosca M2X0.4
Vista Isométrica
Nota: las tolerancias no indicadas son de ±0.05 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Caja Switchs
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0010

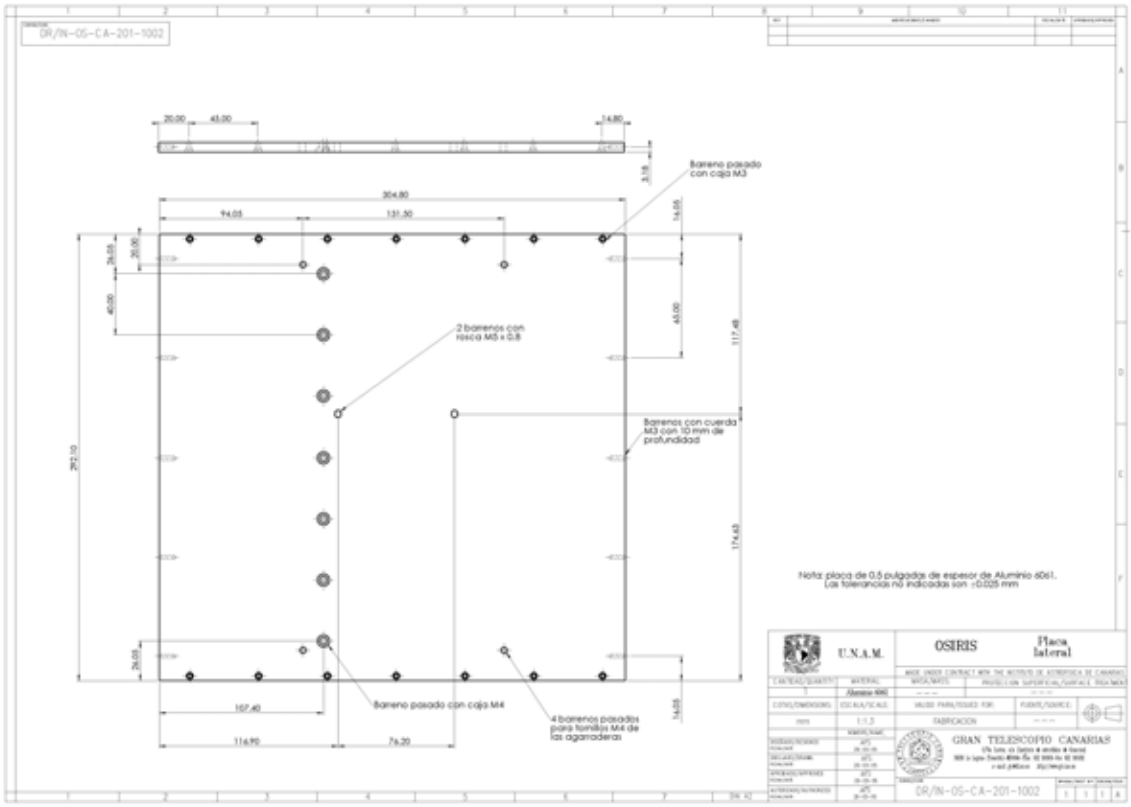

DR/IN-OS-CA-113-0011
Barreno con cuerda M2x0.4 por 8 mm de largo
Pieza A
Vista Isométrica
Barreno pasado con cuerda M3x0.5
Pieza G
2 piezas
Pieza E
Nota: las tolerancias de maquinado son de ±0.050, matar filos.
U.N.A.M.
OSIRIS
Accionadores de interruptores
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-113-0011

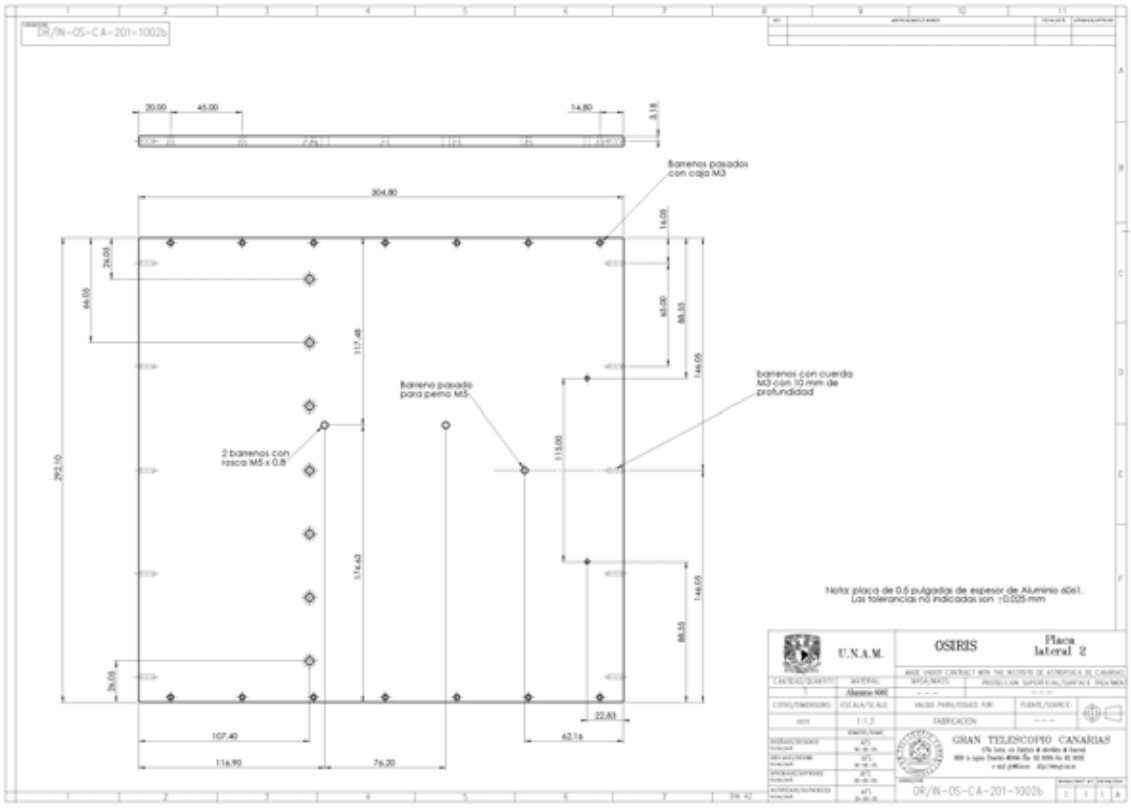


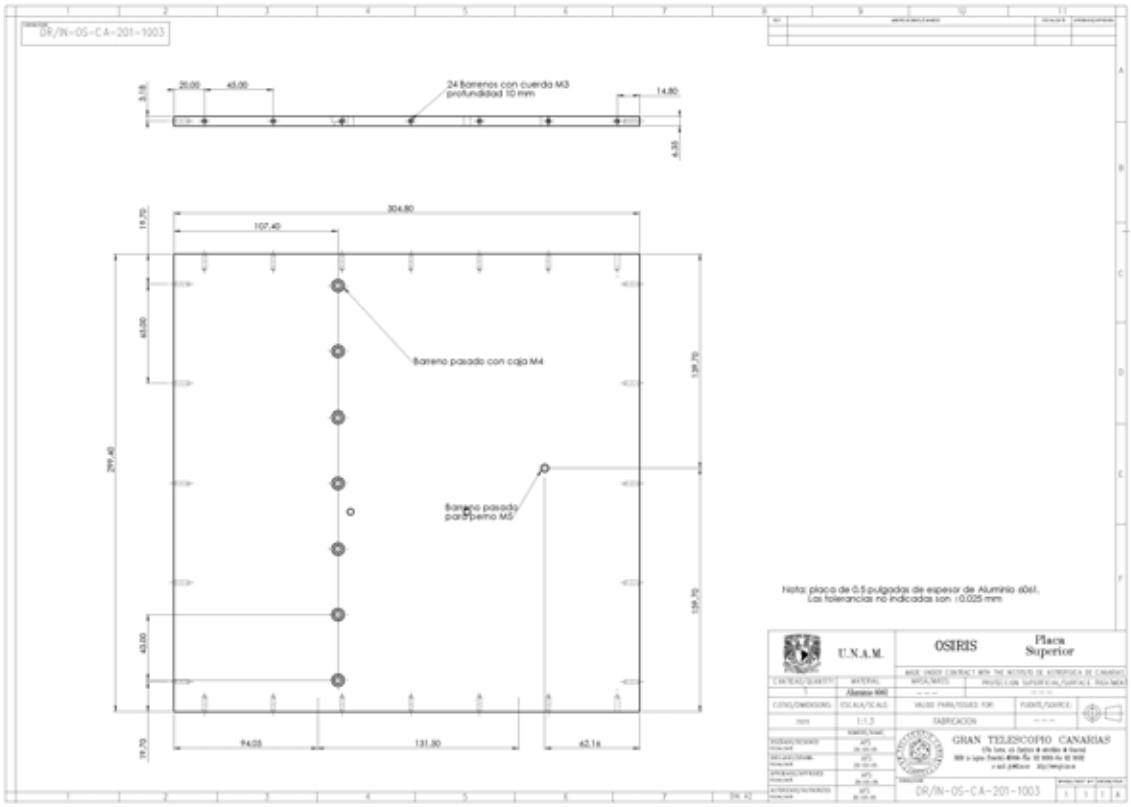


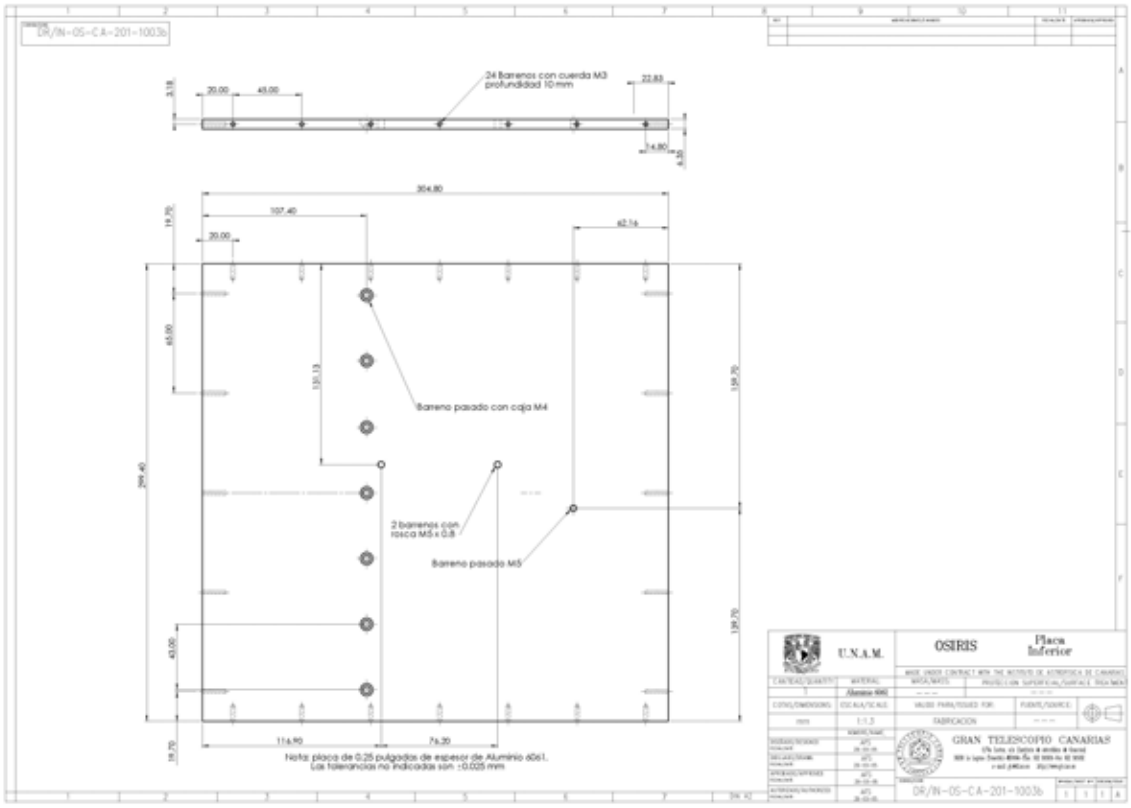
Referencia	Part Name	Drawing Number
1	Placa Shutter	DR/IN-OS-CA-201-1001
2	Placa Lateral	DR/IN-OS-CA-201-1002
3	Placa Lateral 2	DR/IN-OS-CA-201-1002b
4	Placa superior	DR/IN-OS-CA-201-1003
5	Placa Inferior	DR/IN-OS-CA-201-1003b
6	Ventana acrílico	DR/IN-OS-CA-201-1004
7	Pupila	DR/IN-OS-CA-201-1005
8	Base pupila	DR/IN-OS-CA-201-1006
9	Placa de giro	DR/IN-OS-CA-201-1007
10	Tope lateral	DR/IN-OS-CA-201-1008
11	Interface de giro	DR/IN-OS-CA-201-1009

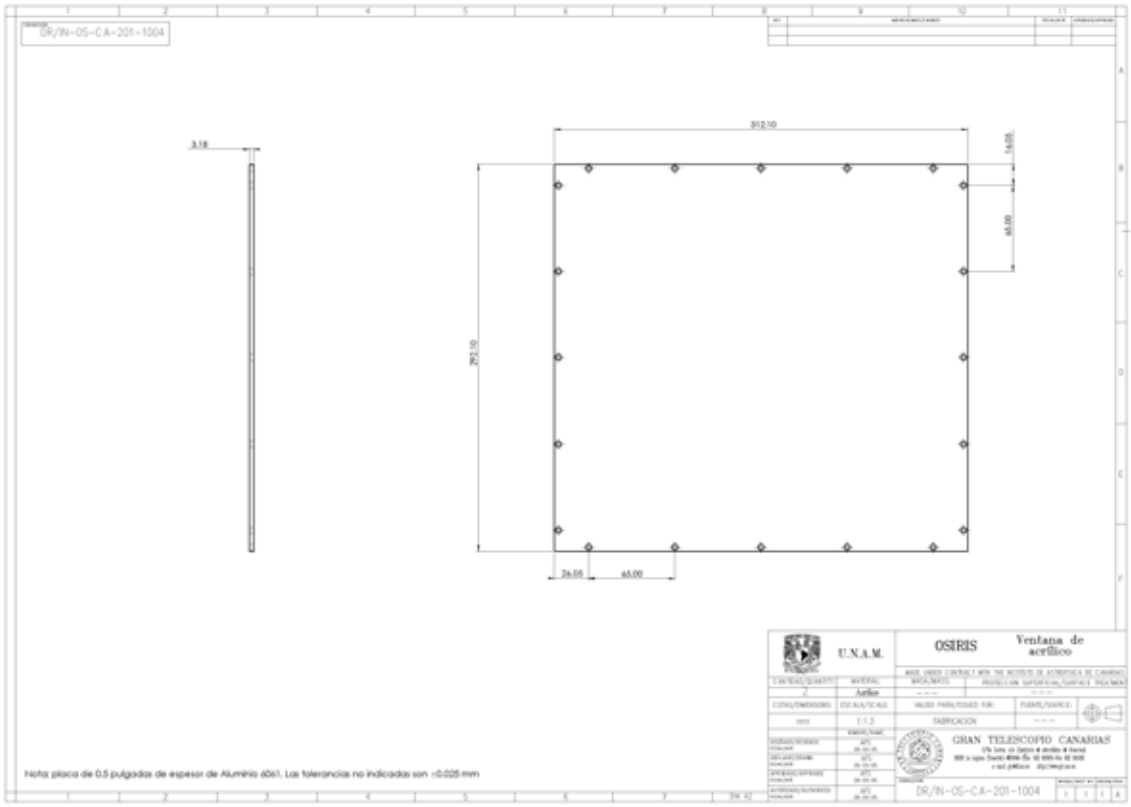

DR/IN-05-CA-201-1001
6 Barrenos roscados M4 a 120°
28 barrenos con rosca M4X0.7
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061. Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa Shutter
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1001

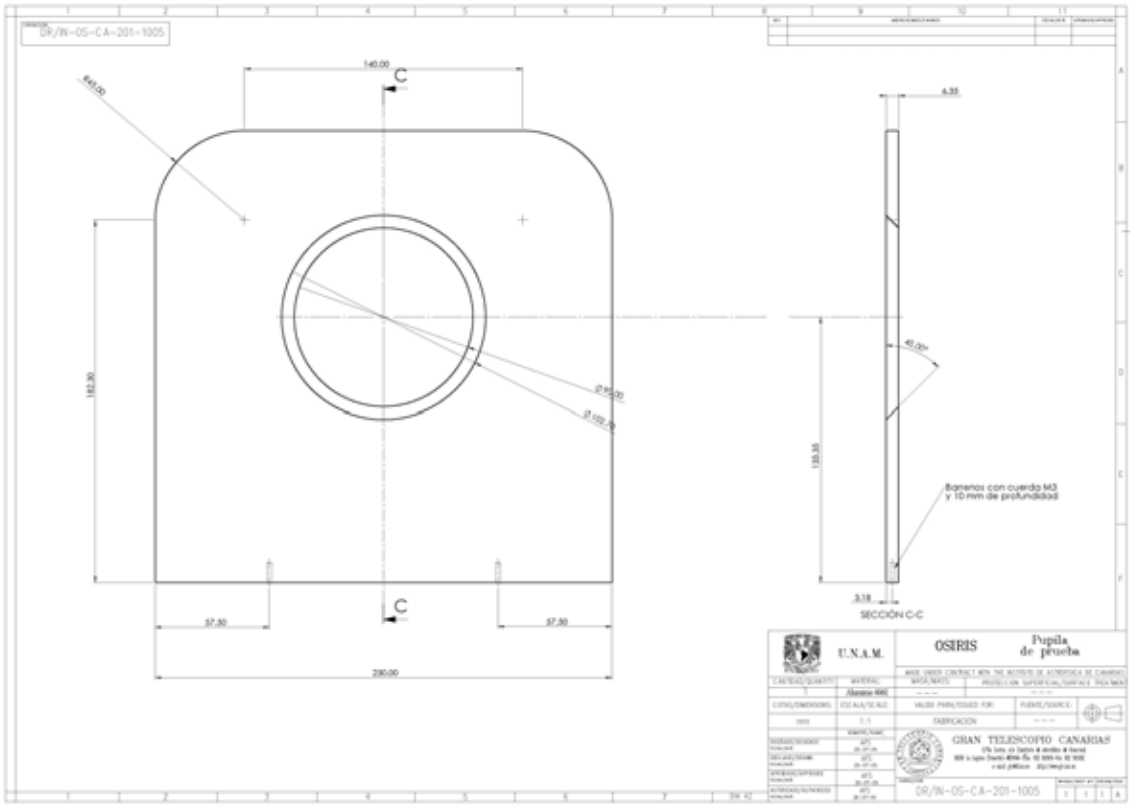

DR/IN-05-CA-201-1002
Barreno pasado con caja M3
2 barrenos con rosca M5 x 0.8
Barrenos con cuerda M3 con 10 mm de profundidad
Barreno pasado con caja M4
4 barrenos pasados para tornillos M4 de las agarraderas
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061. Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa lateral
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1002

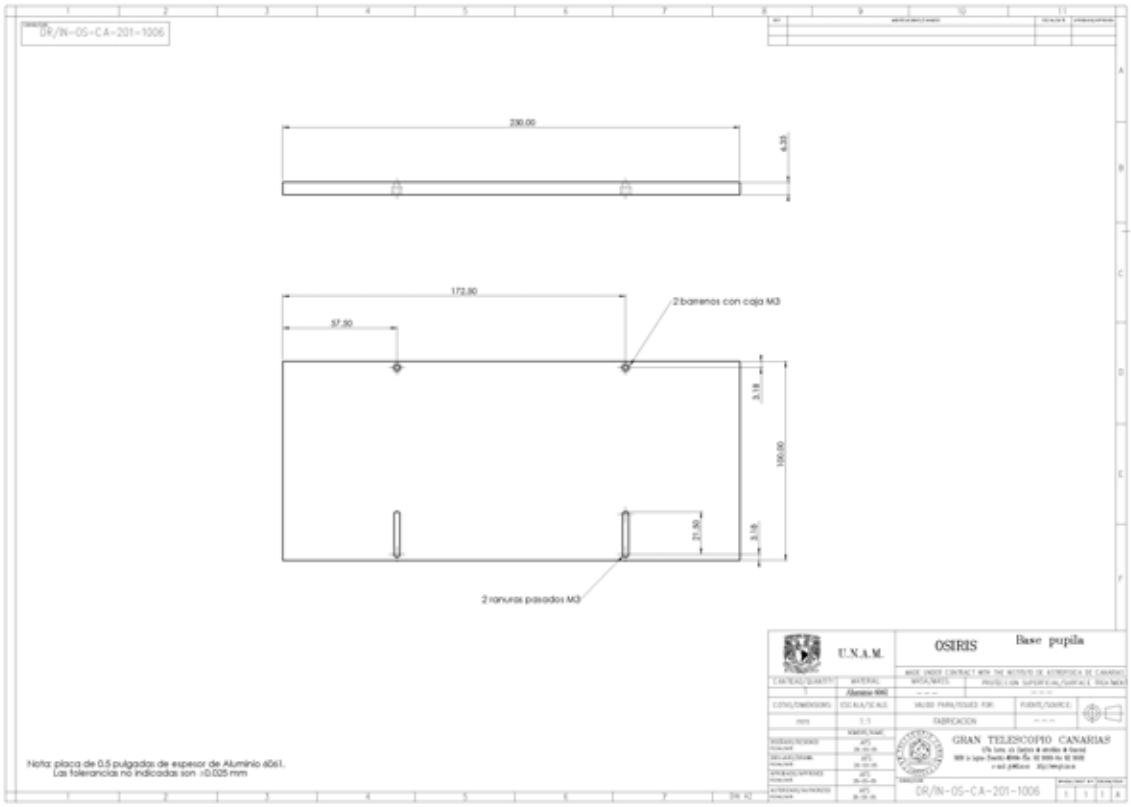

DR/IN-OS-CA-201-1002b
Barrenos pasados con cajo M3
Barreno pasado para perno M5
Barrenos con cuerda M3 con 10 mm de profundidad
2 barrenos con rosca M5 x 0.8
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061.
Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa lateral 2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1002b

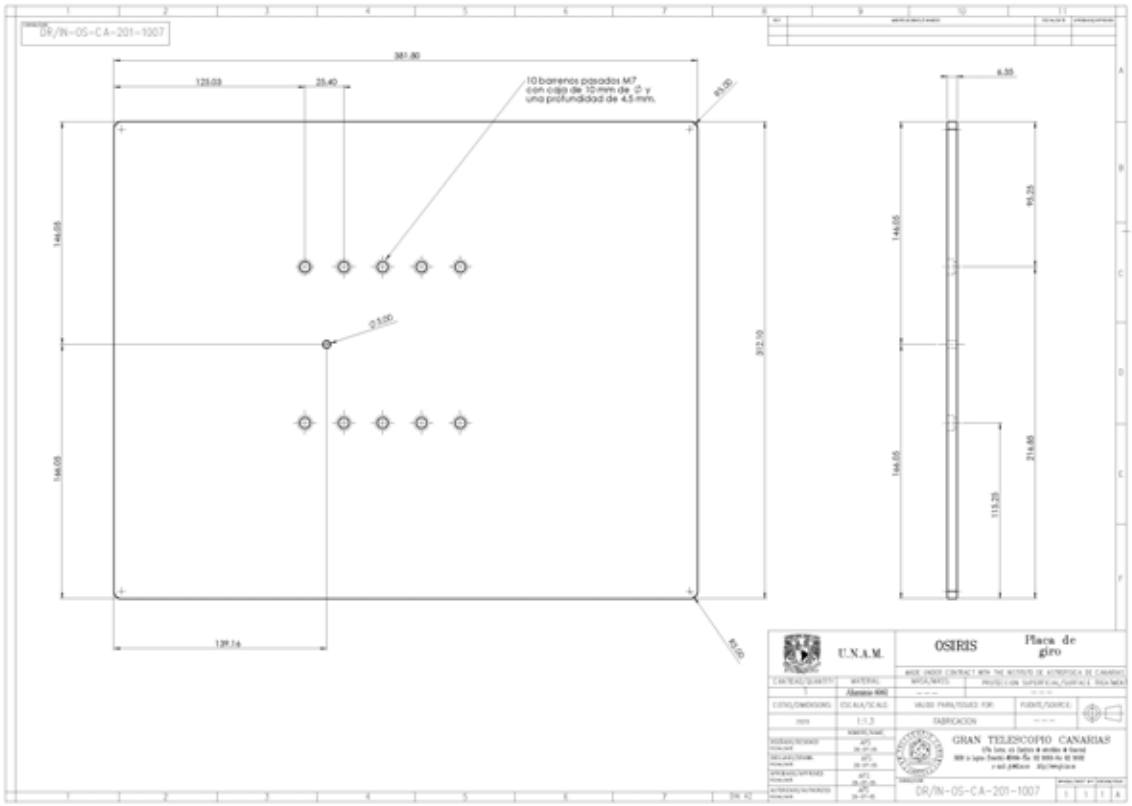

DR/IN-OS-CA-201-1003
24 Barrenos con cuerda M3 profundidad 10 mm
Barreno pasado con cajo M4
Barreno pasado para perno M5
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061.
Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa Superior
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1003

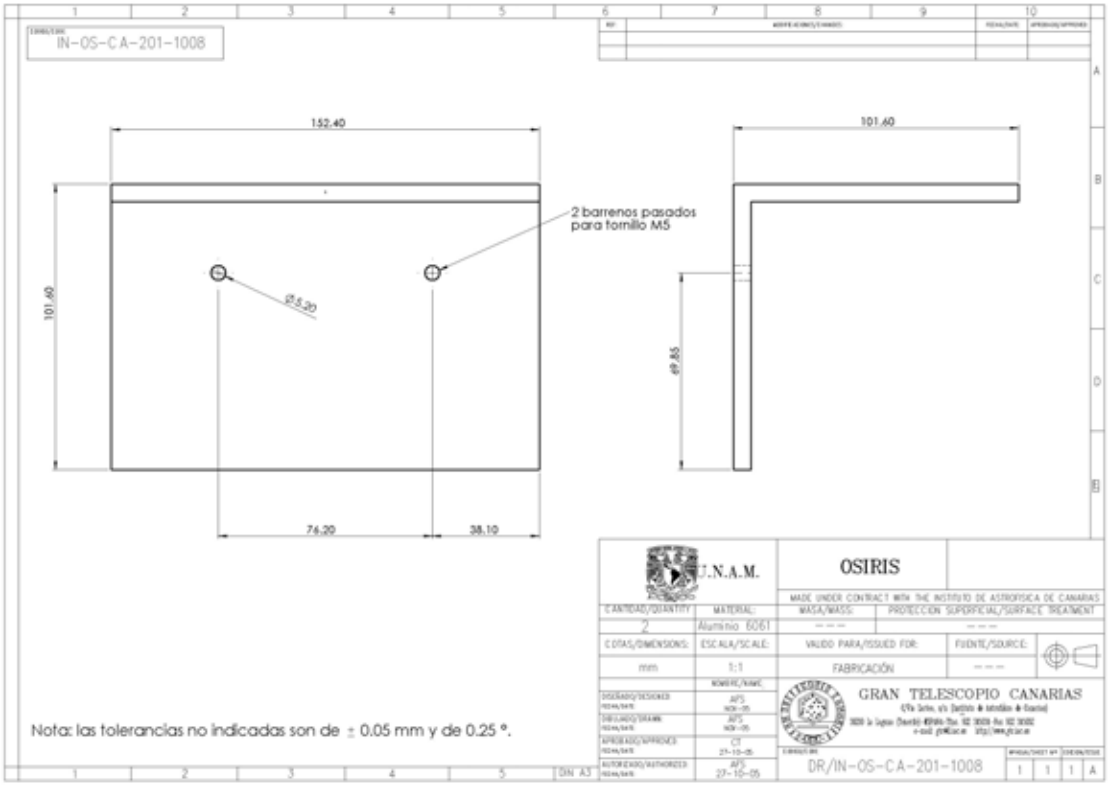

DR/IN-OS-CA-201-1003b
24 Barrenos con cuerda M3 profundidad 10 mm
Barreno pasado con caja M4
2 barrenos con rosca M5 x 0.8
Barreno pasado M5
Nota: placa de 0.25 pulgadas de espesor de Aluminio 6061.
Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa Inferior
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1003b

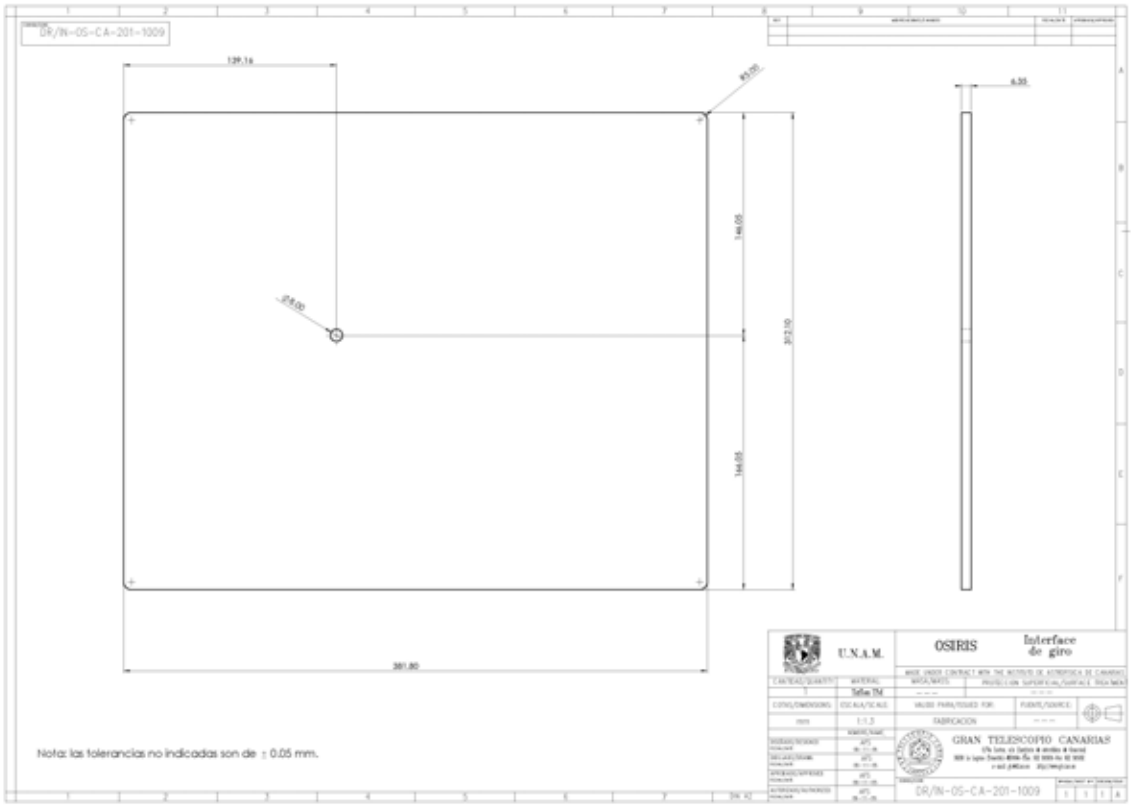

DR/IN-OS-CA-201-1004
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061. Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Ventana de acrílico
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1004

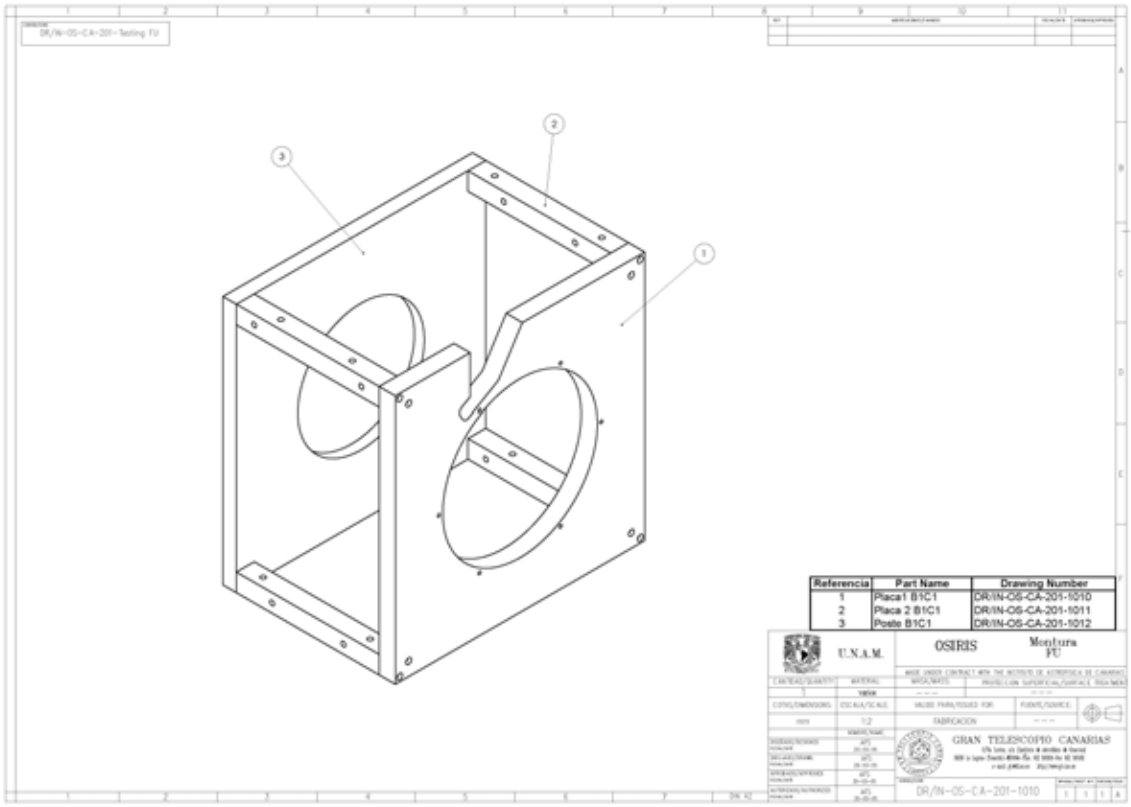

DR/IN-OS-CA-201-1005
140.00
C
R45.00
142.30
57.50
57.50
230.00
6.35
45.00°
130.35
Barrenos con cuerda M3
y 10 mm de profundidad
3.18
SECCIÓN C-C
U.N.A.M.
OSIRIS
Pupila
de prueba
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1005

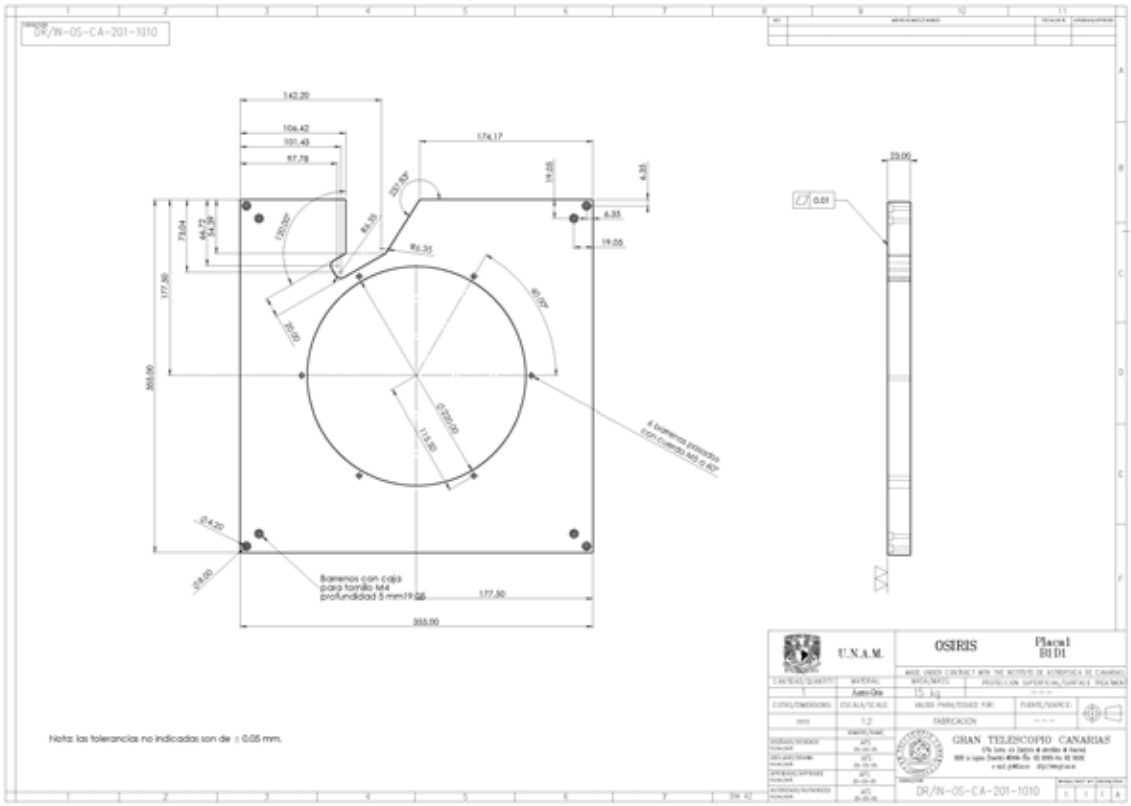

DR/IN-OS-CA-201-1006
230.00
6.35
172.30
57.50
2 barrenos con cajas M3
3.18
190.00
21.50
3.18
2 ranuras pasados M3
Nota: placa de 0.5 pulgadas de espesor de Aluminio 6061.
Las tolerancias no indicadas son ±0.025 mm
U.N.A.M.
OSIRIS
Base pupila
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1006

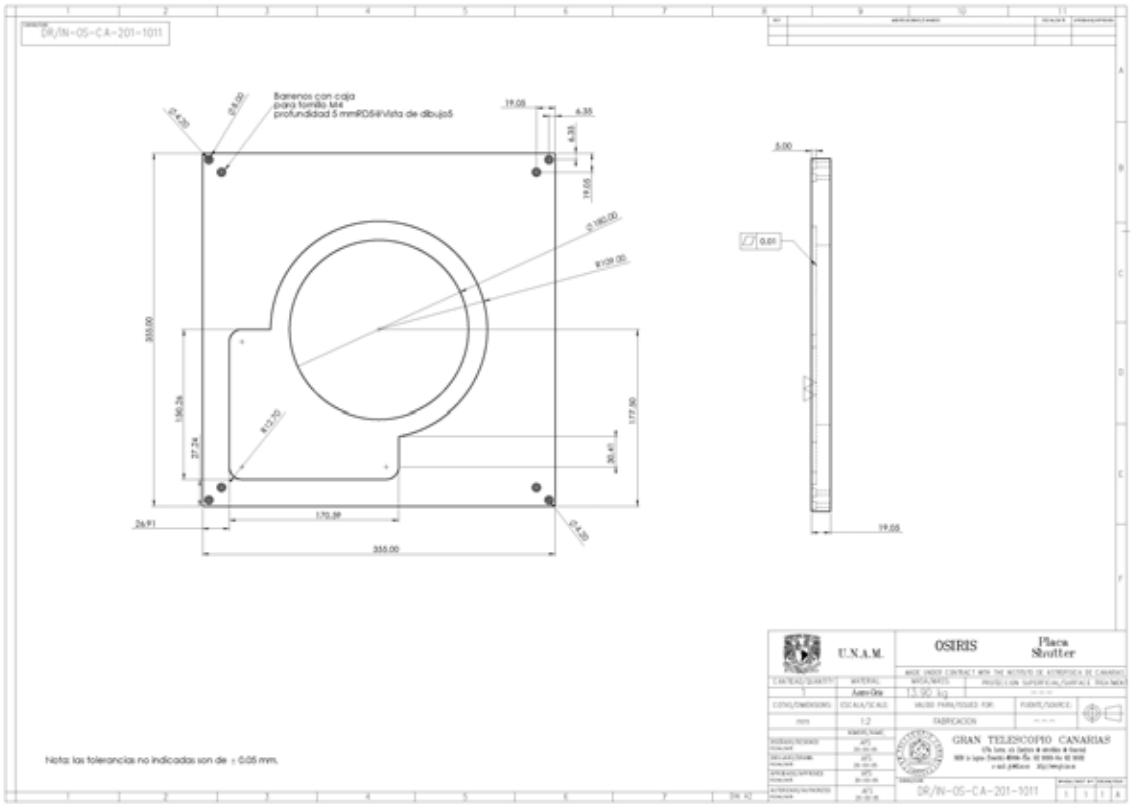

DR/IN-OS-CA-201-1007
381.00
127.00
25.40
10 barrenos pasados M7 con caja de 10-mm de Ø y una profundidad de 4.5 mm.
146.05
146.05
Ø 5.00
372.10
139.74
6.35
95.25
146.05
146.05
214.85
115.25
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa de giro
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
7
Aluminio 6061
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1.5
FABRICACION
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1007
DIN A2

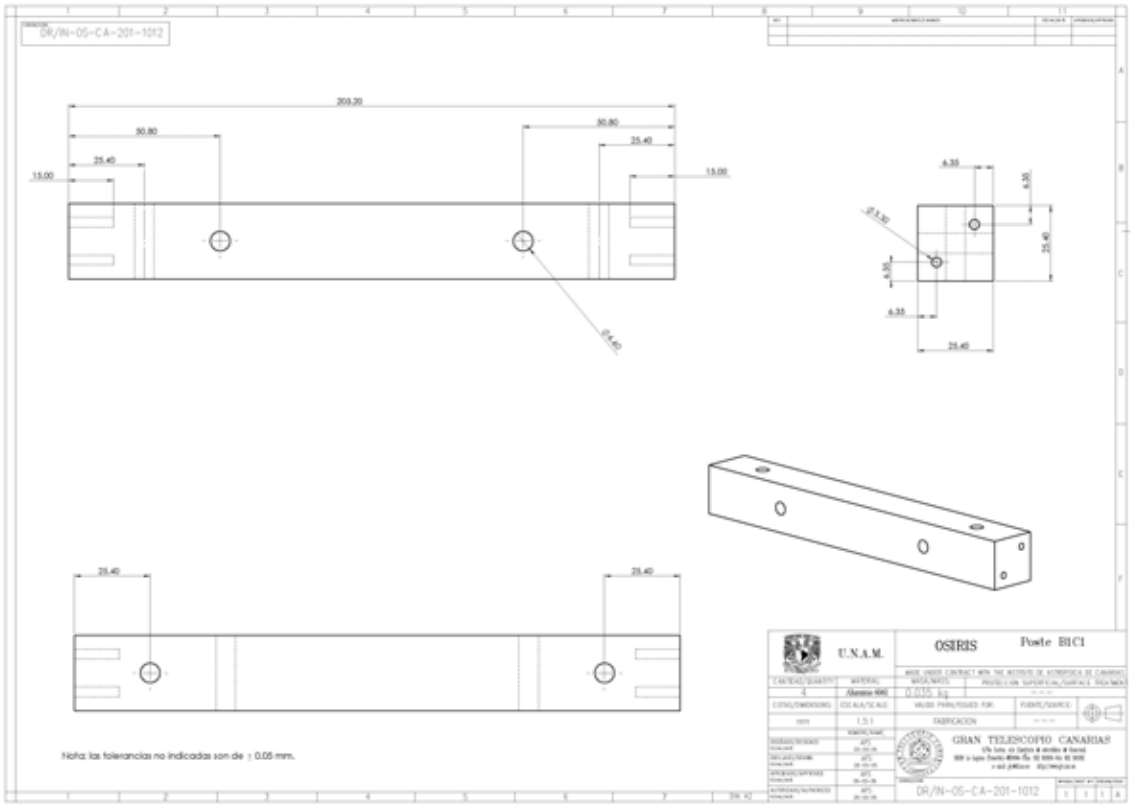

IN-OS-CA-201-1008
152.40
101.60
2 barrenos pasados para tornillo M5
101.60
Ø 5.20
69.85
76.20
38.10
U.N.A.M.
OSIRIS
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
2
Aluminio 6061
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
FABRICACIÓN
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1008
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y de 0.25 °.
DIN A3

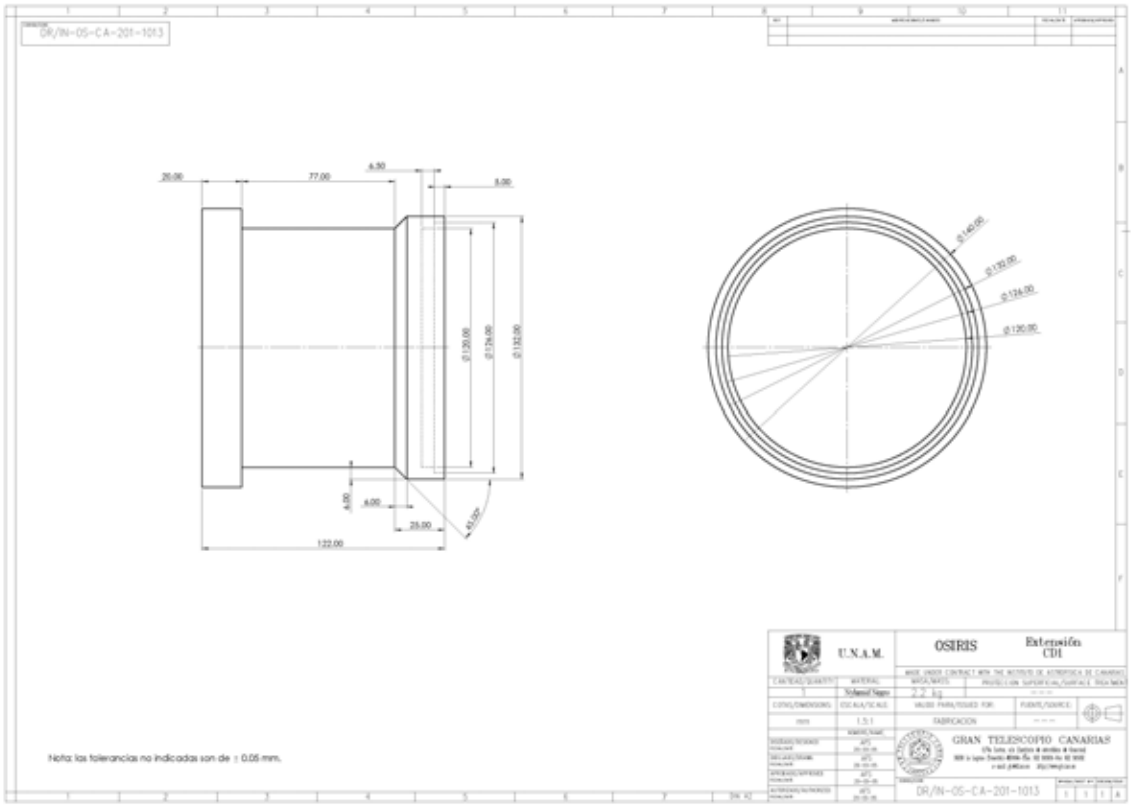

DR/IN-OS-CA-201-1009
139.16
6.30
144.05
352.10
144.05
301.80
U.N.A.M.
OSIRIS
Interface de giro
Silla TM
1:1.5
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1009
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

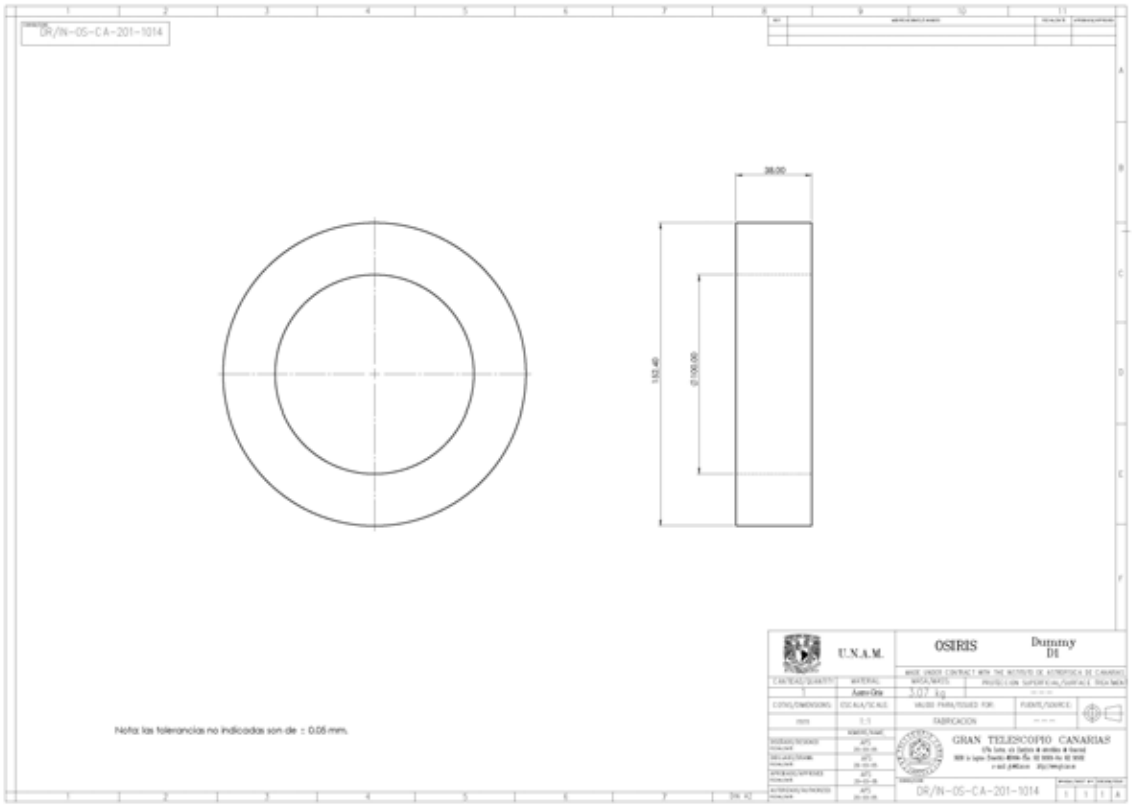

DR/IN-OS-CA-201-Testing FU
1
2
3
Referencia | Part Name | Drawing Number
1 | Placa1 B1C1 | DR/IN-OS-CA-201-1010
2 | Placa 2 B1C1 | DR/IN-OS-CA-201-1011
3 | Poste B1C1 | DR/IN-OS-CA-201-1012
U.N.A.M.
OSIRIS
Montura FU
1:2
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1010

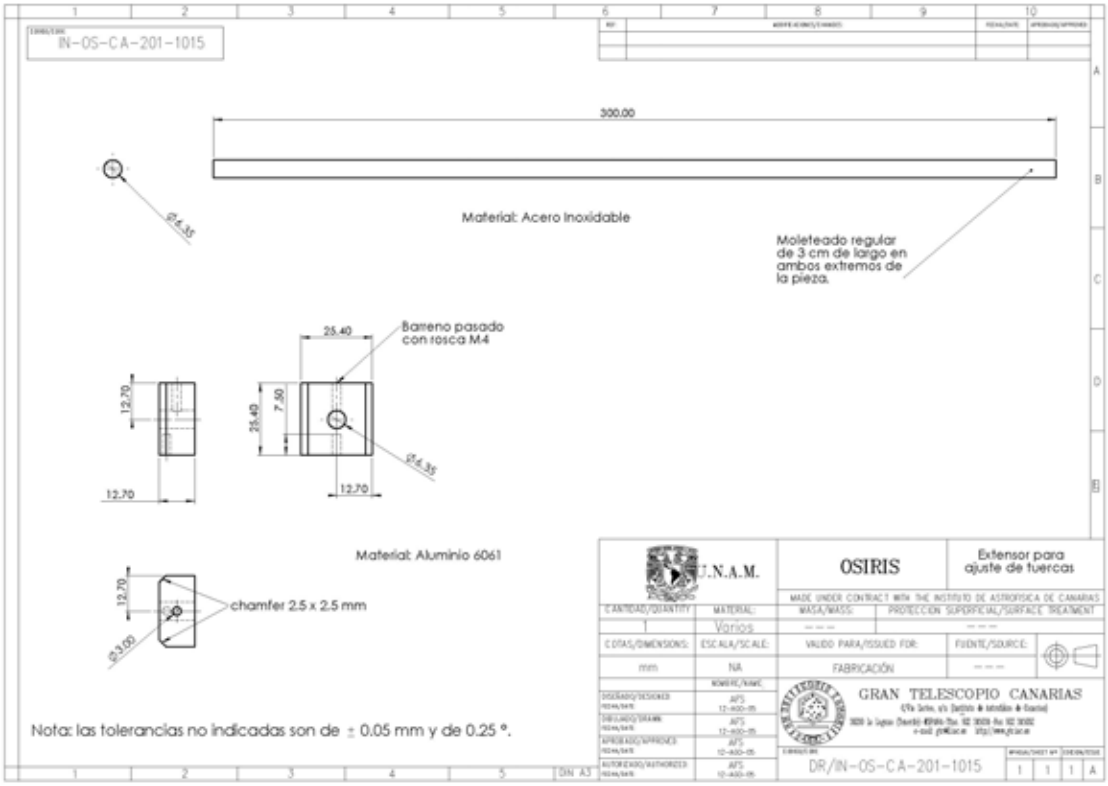

DR/IN-OS-CA-201-1010
142.20
106.42
101.43
97.79
174.17
19.05
6.35
6.35
19.05
73.04
44.72
34.38
120.00
237.50
R6.35
R4.35
177.50
355.00
20.00
60.07
Ø220.00
114.80
4 Esquinas redondeadas con curvatura MIN 15.00
Ø4.50
Ø8.00
Barrenos con caja para tornillo M4 profundidad 5 mm19.06
177.50
355.00
29.00
0.01
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa1 BIDI
Acero Gris
15 kg
1:2
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1010
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

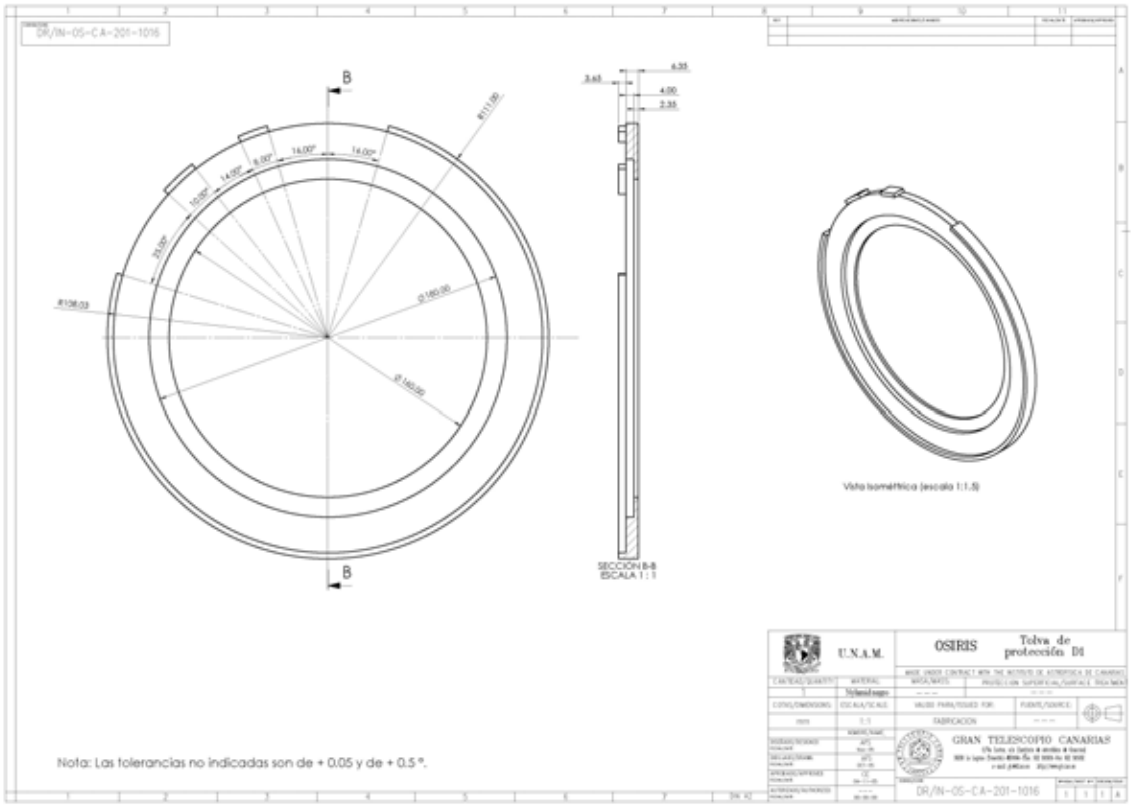

DR/IN-OS-CA-201-1011
Ø4.50
Ø8.00
Barrenos con caja para tornillo M4 profundidad 5 mmRD56#Vista de dibujo5
19.05
6.35
6.35
19.05
Ø160.00
R109.00
355.00
190.26
27.74
R12.72
177.50
26.41
26.91
170.59
Ø4.50
355.00
5.00
0.01
19.05
U.N.A.M.
OSIRIS
Placa Shutter
Acero Gris
13.90 kg
1:2
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1011
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

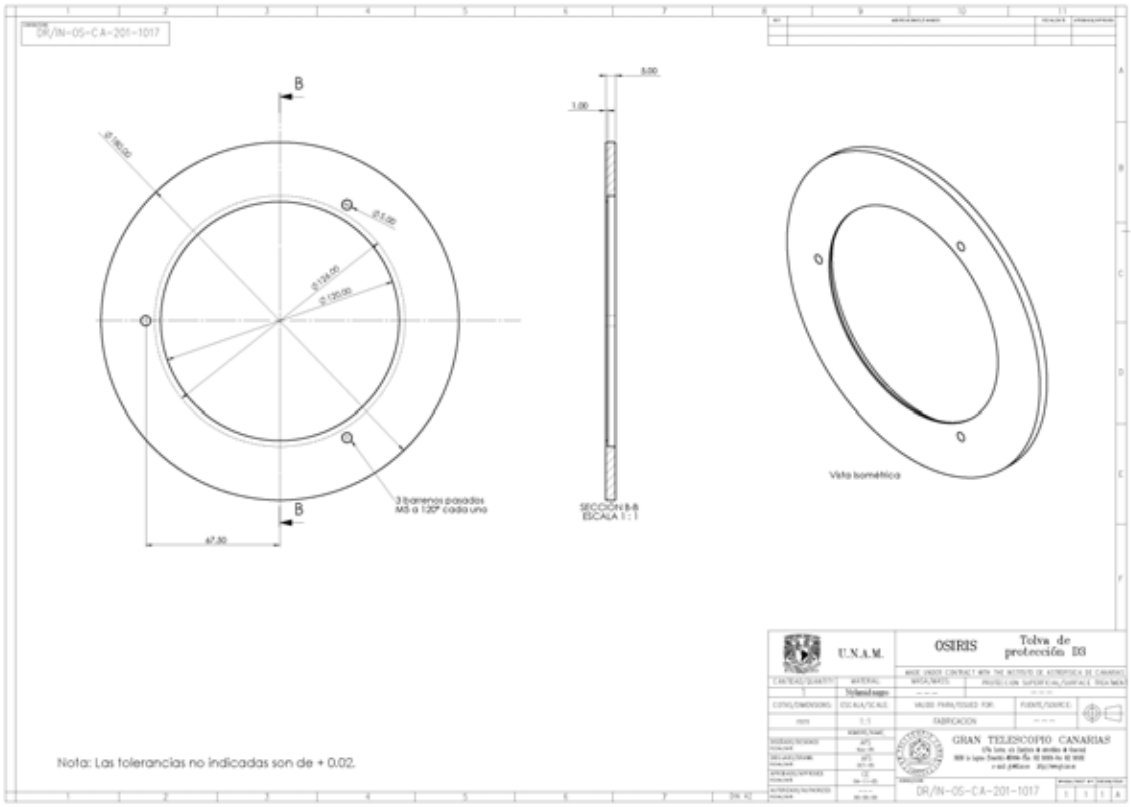

DR/IN-OS-CA-201-1012
203.20
50.80
25.40
15.00
6.35
25.40
U.N.A.M.
OSIRIS
Poste BIC1
Aleación 6061
0.015 kg
1:5:1
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

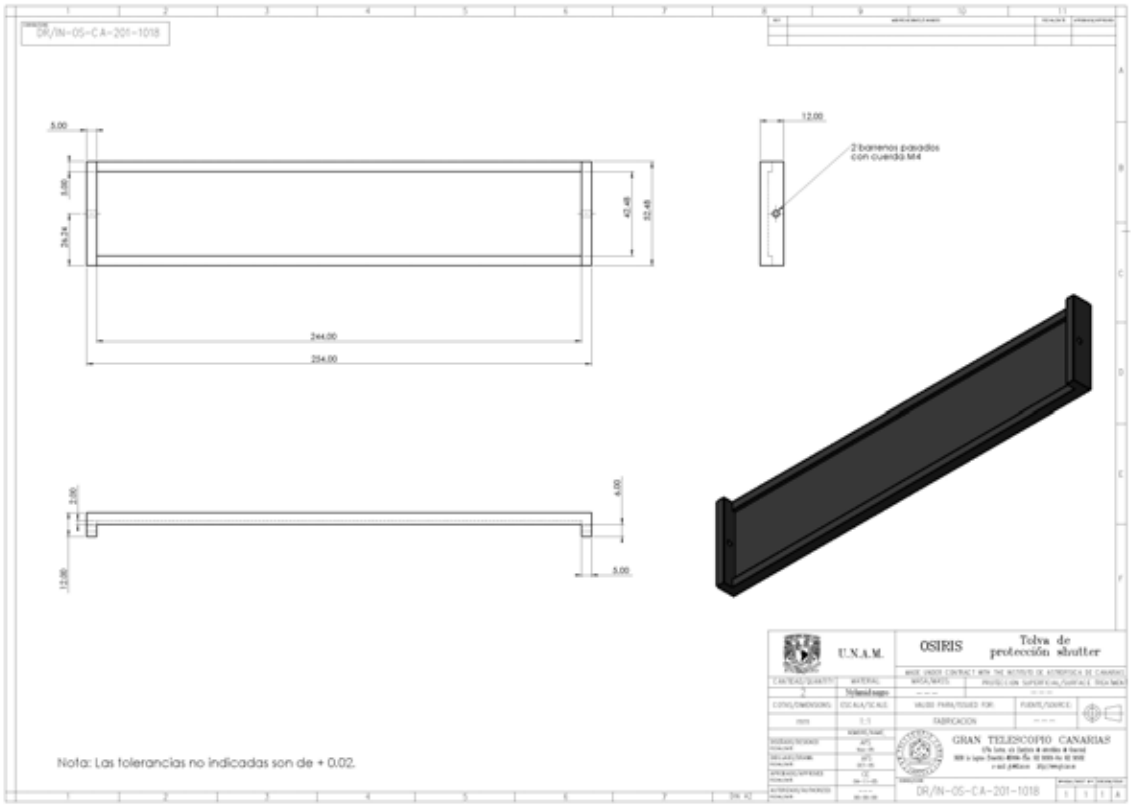

DR/IN-OS-CA-201-1013
20.00
77.00
6.50
8.00
Ø120.00
Ø124.00
Ø132.00
Ø140.00
Ø130.00
Ø124.00
Ø120.00
6.00
25.00
122.00
U.N.A.M.
OSIRIS
Extensión CD1
Nylamid Super
2.2 kg
1:5:1
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.

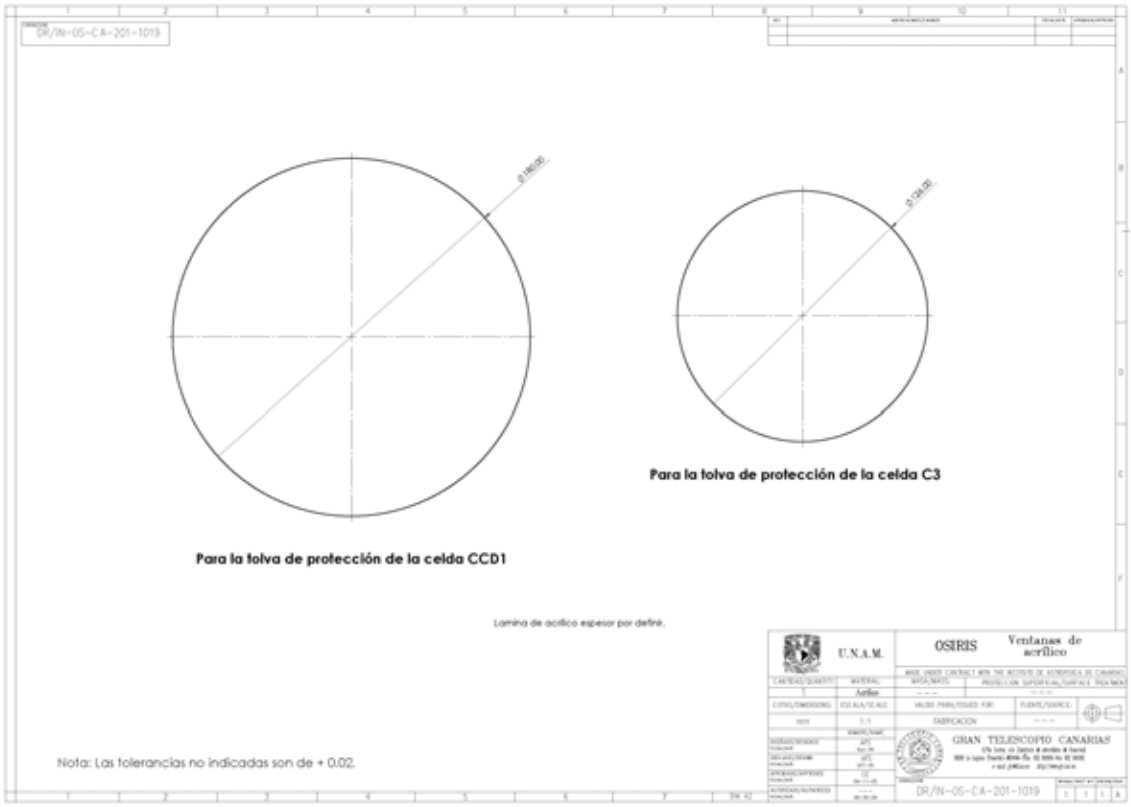

DR/IN-OS-CA-201-1014
38.00
152.40
Ø100.00
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm.
U.N.A.M.
OSIRIS
Dummy DI
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL
MASA/MASS
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
Acero Gris
3.07 kg
COTAS/DIMENSIONS
ESCALA/SCALE
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
1:1
FABRICACION
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
AFS
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1014
DIN A3

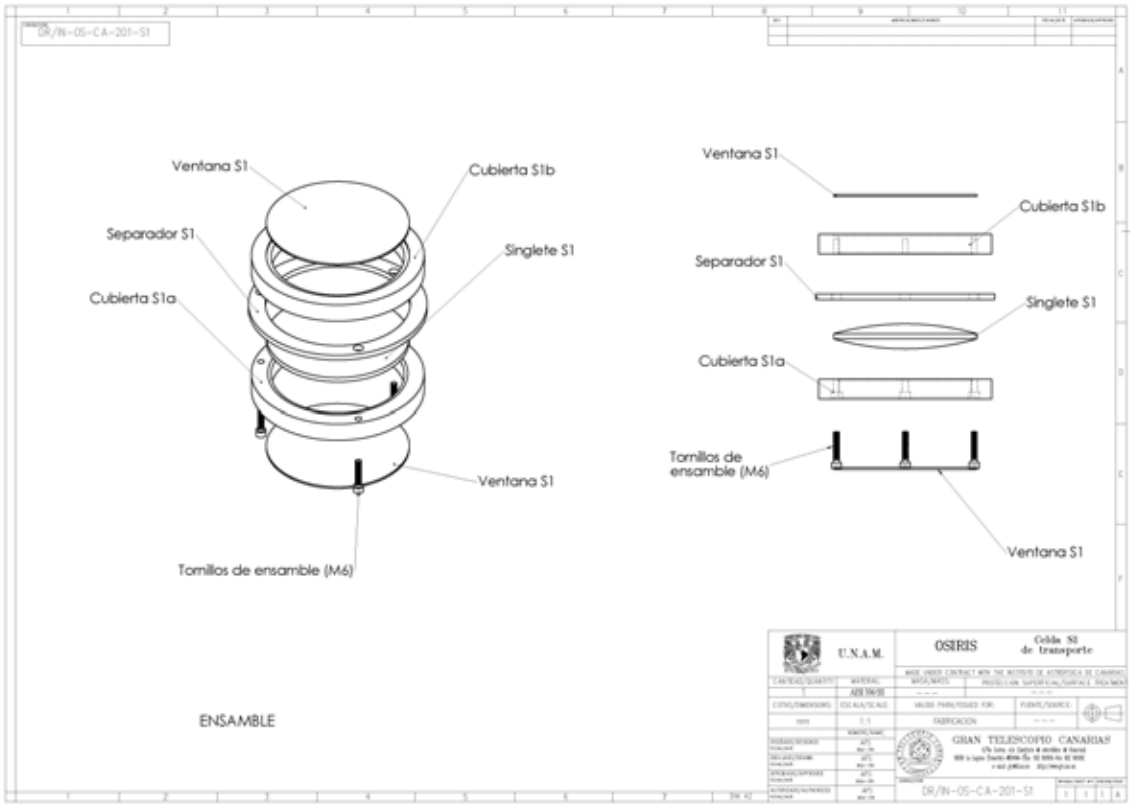

IN-OS-CA-201-1015
300.00
Ø4.35
Material: Acero Inoxidable
Moleteado regular de 3 cm de largo en ambos extremos de la pieza.
25.40
Barreno pasado con rosca M4
12.70
25.40
7.50
Ø4.35
12.70
12.70
Material: Aluminio 6061
12.70
chamfer 2.5 x 2.5 mm
Ø3.00
Nota: las tolerancias no indicadas son de ± 0.05 mm y de 0.25 °.
U.N.A.M.
OSIRIS
Extensor para ajuste de tuercas
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Varios
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
FABRICACIÓN
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
AFS
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1015
DIN A3

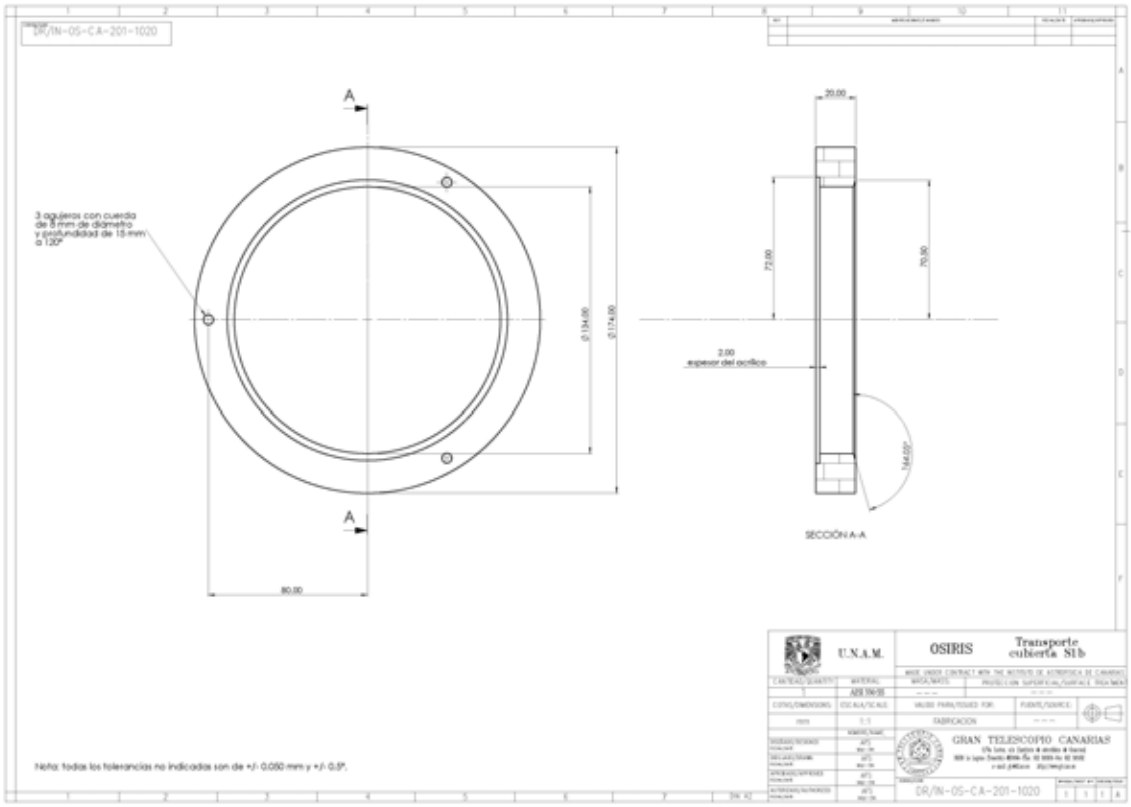

DR/IN-05-CA-201-1016
B
R111.00
16.00°
14.00°
8.00°
10.00°
25.00°
R108.03
Ø160.00
Ø160.00
6.35
3.65
4.00
2.35
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1
Vista isométrica (escala 1:1.5)
U.N.A.M.
OSIRIS
Tolva de protección D1
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1016
Nota: Las tolerancias no indicadas son de + 0.05 y de + 0.5 °.

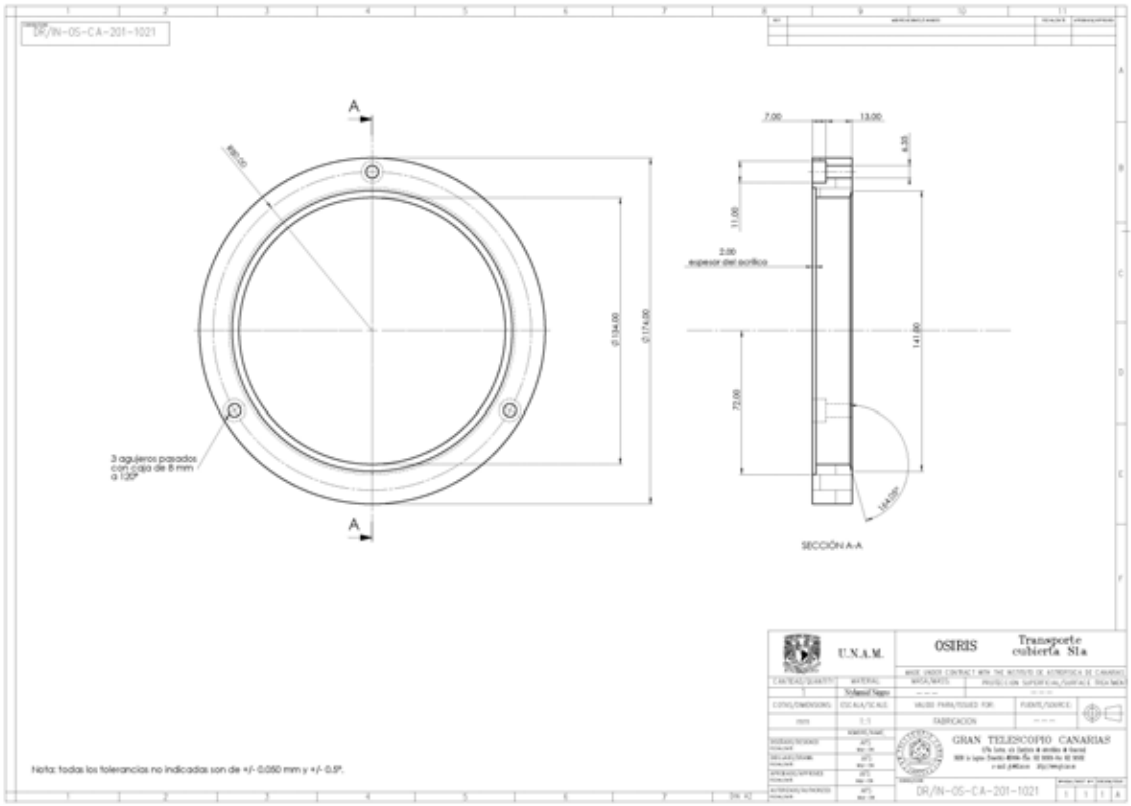

DR/IN-05-CA-201-1017
B
Ø160.00
Ø5.00
Ø134.00
Ø120.00
3 barrenos avacados
M5 a 120° cada uno
67.00
5.00
1.00
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1
Vista isométrica
U.N.A.M.
OSIRIS
Tolva de protección D3
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1017
Nota: Las tolerancias no indicadas son de + 0.02.

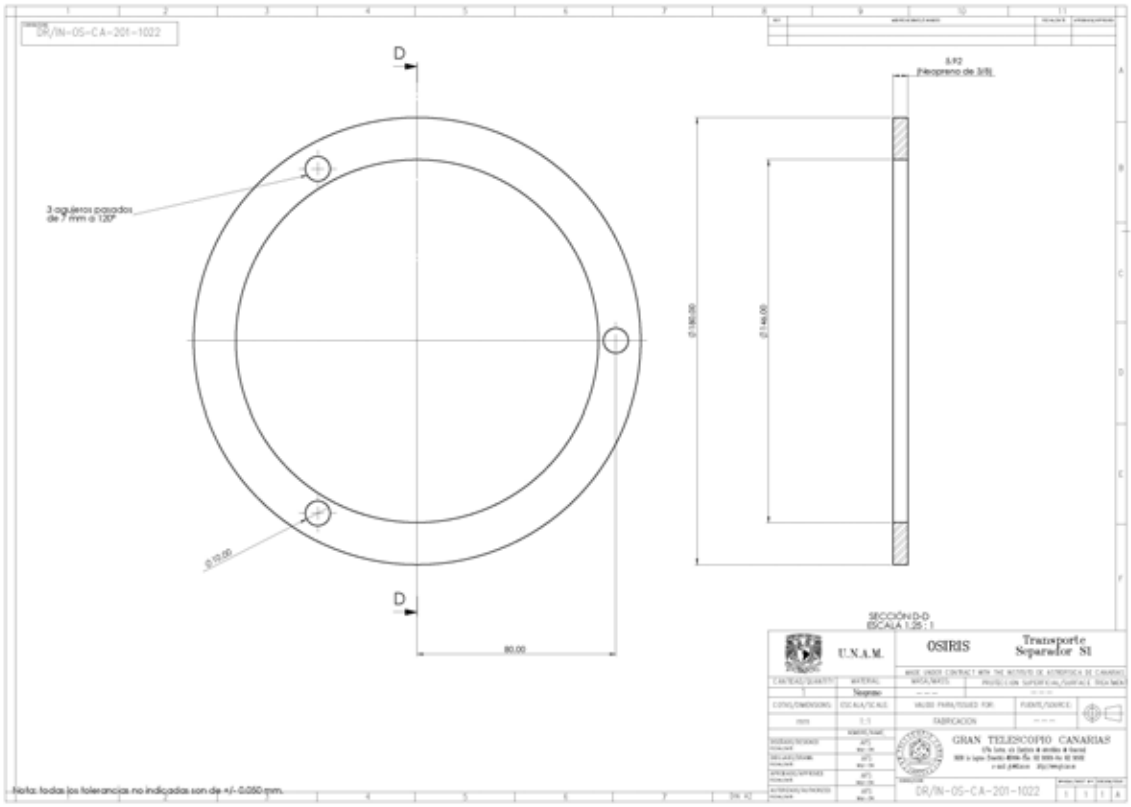

DR/IN-05-CA-201-1018
5.00
3.00
24.24
42.48
52.48
244.00
254.00
12.00
2 barrenos pasados con cuerda M4
2.00
12.00
6.00
5.00
U.N.A.M.
OSIRIS
Tolva de protección shutter
Nylamid negro
1:1
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1018
Nota: Las tolerancias no indicadas son de + 0.02.

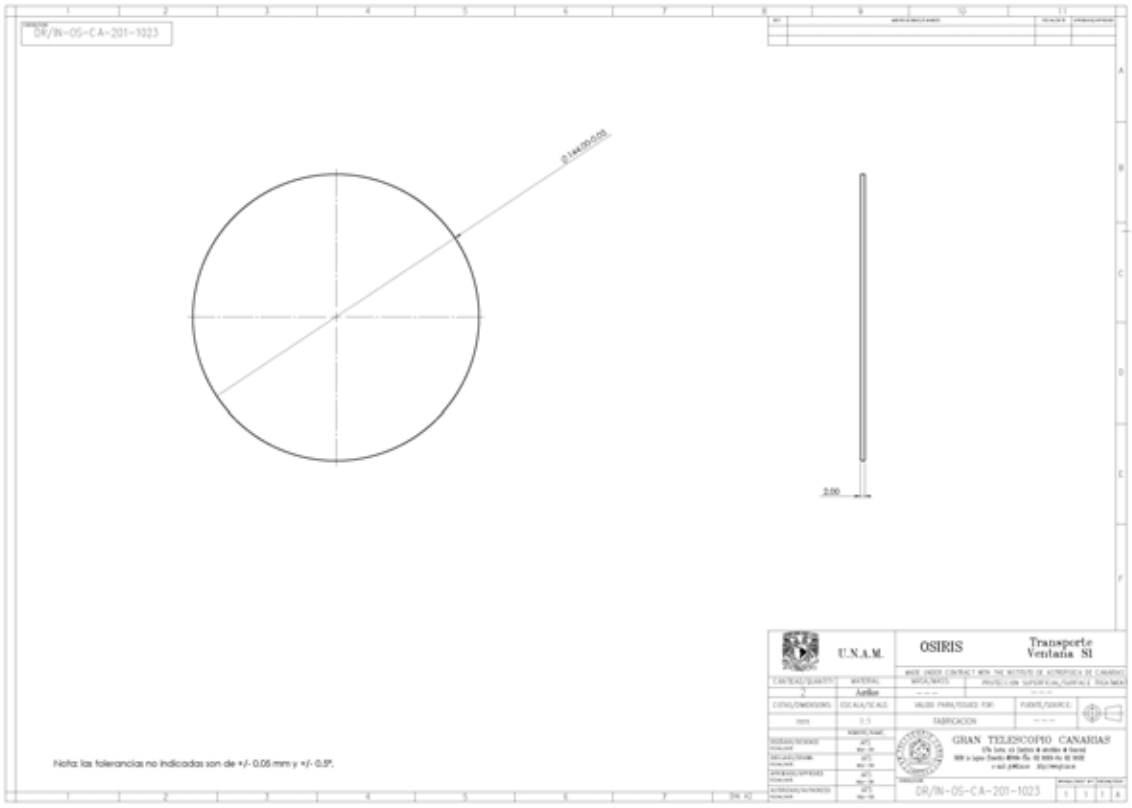

DR/IN-05-CA-201-1019
Ø 180.00
Ø 124.00
Para la tolva de protección de la celda C3
Para la tolva de protección de la celda CCD1
Lamina de acrilico espesor por definir.
U.N.A.M.
OSIRIS
Ventanas de acrílico
Acrílico
1:1
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1019
Nota: Las tolerancias no indicadas son de + 0.02.

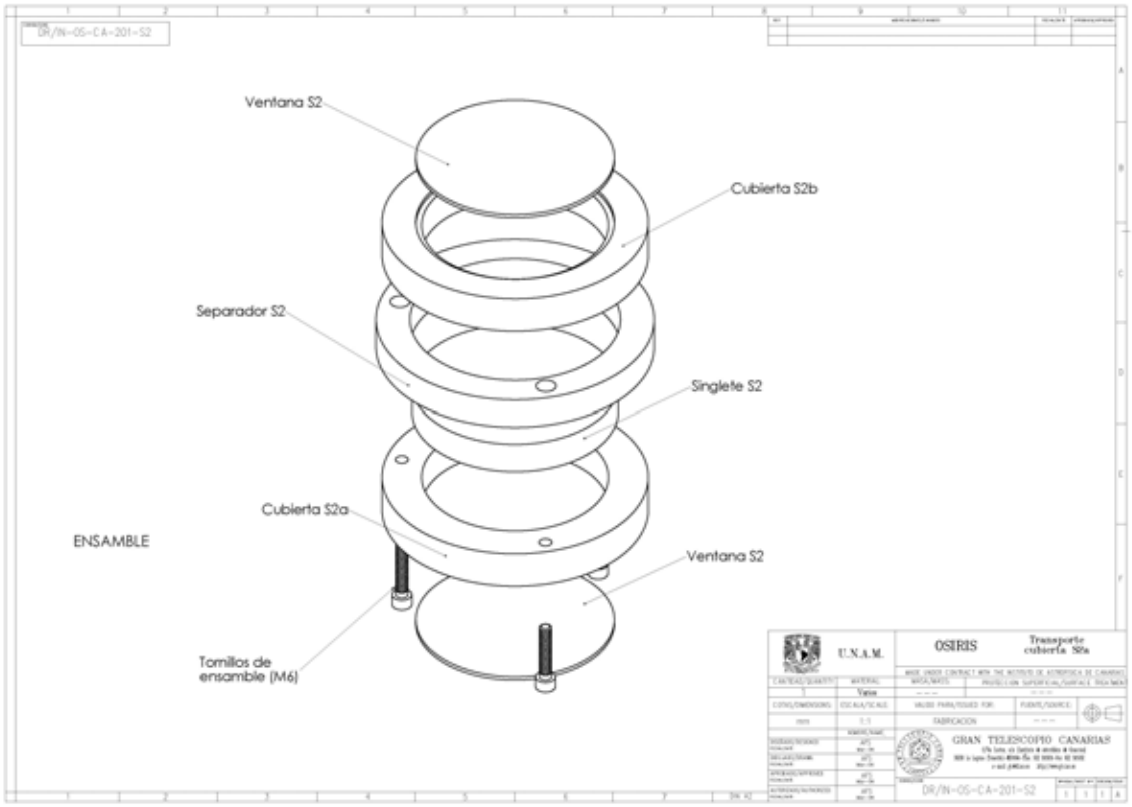

DR/IN-05-CA-201-S1
Ventana S1
Cubierta S1b
Separador S1
Singlete S1
Cubierta S1a
Ventana S1
Tornillos de ensamble (M6)
Ventana S1
Cubierta S1b
Separador S1
Singlete S1
Cubierta S1a
Tornillos de ensamble (M6)
Ventana S1
ENSAMBLE
U.N.A.M.
OSIRIS
Celda S1 de transporte
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-S1

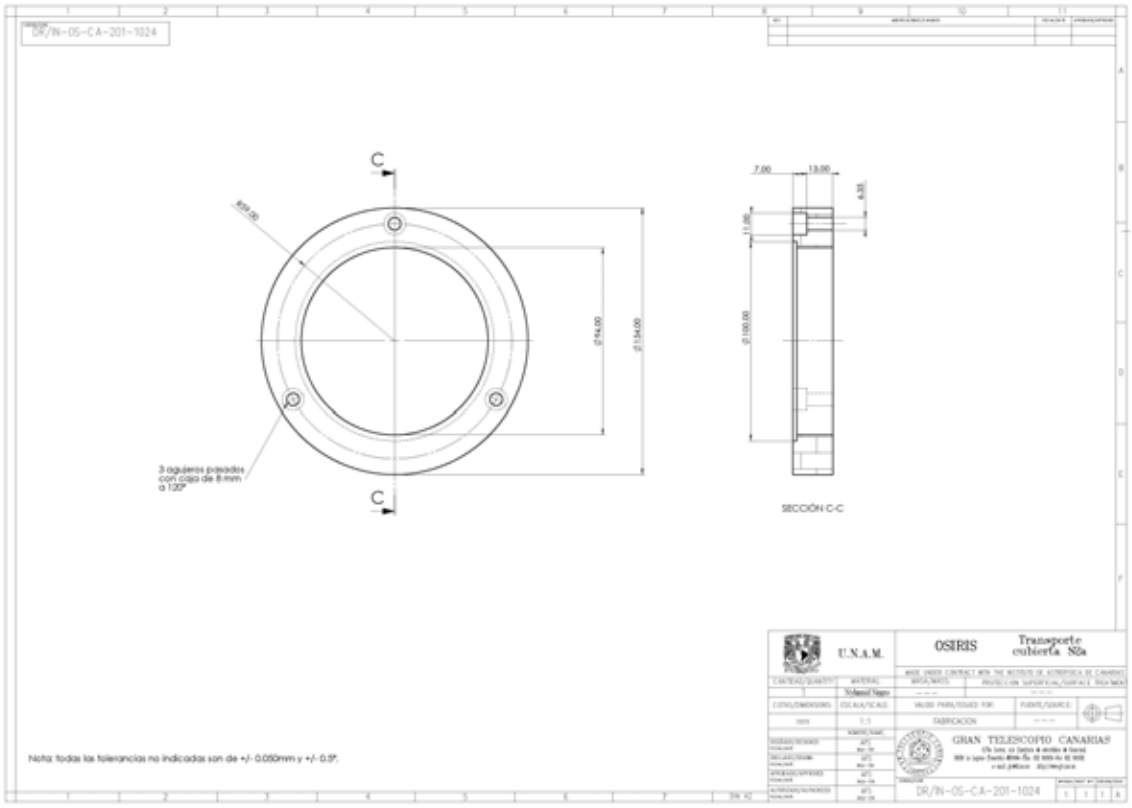

DR/IN-05-CA-201-1020
A
A
3 agujeros con cuerda de 8 mm de diámetro y profundidad de 15 mm a 120°
Ø 134.00
Ø 174.00
80.00
20.00
70.00
70.00
2.00
espesor del acrílico
144.00°
SECCIÓN A-A
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050 mm y +/- 0.5°.
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S1b
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1020

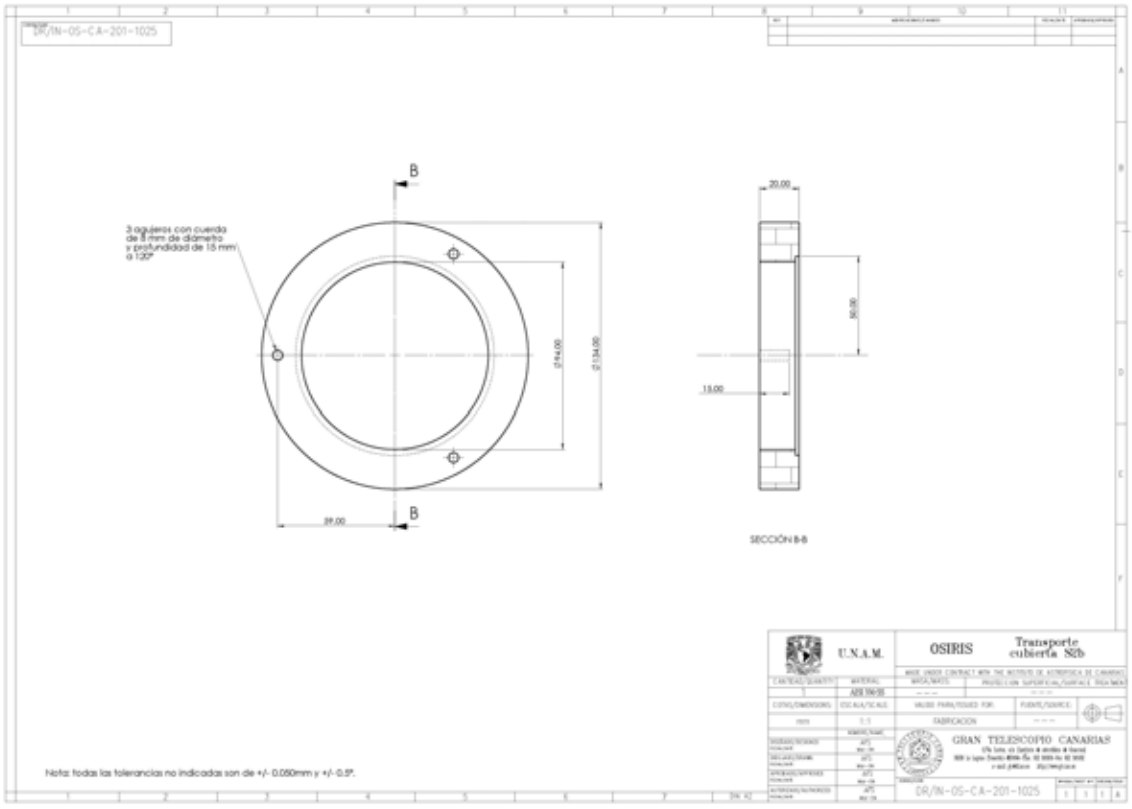

DR/IN-OS-CA-201-1021
A
A
3 agujeros pasados con caja de 8 mm a 120º
7.00
13.00
6.35
11.00
2.00
espesor del acrílico
141.00
72.00
144.00
SECCIÓN A-A
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S1a
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1021
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050 mm y +/- 0.5º.

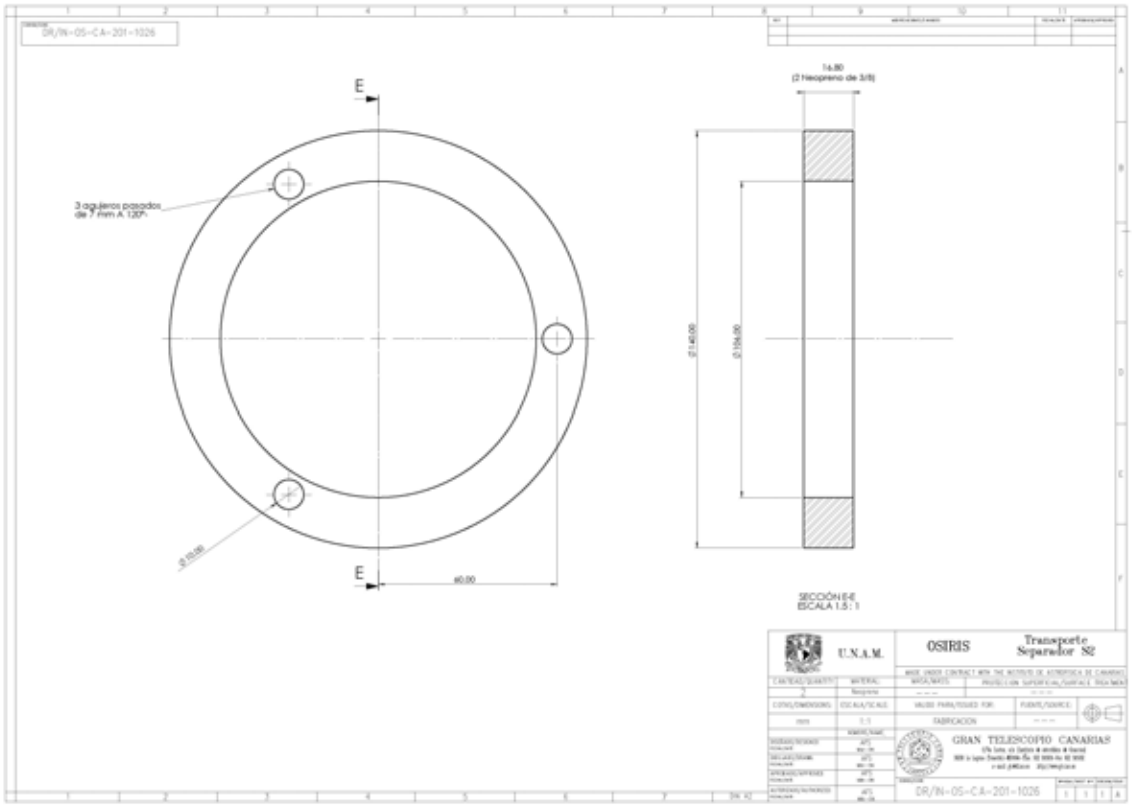

DR/IN-OS-CA-201-1022
D
D
3 agujeros pasados de 7 mm a 120º
80.00
6.92
(Neoprene de 3/8)
SECCIÓN D-D
(ESCALA 1:25 : 1)
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte Separador S1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1022
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050 mm.

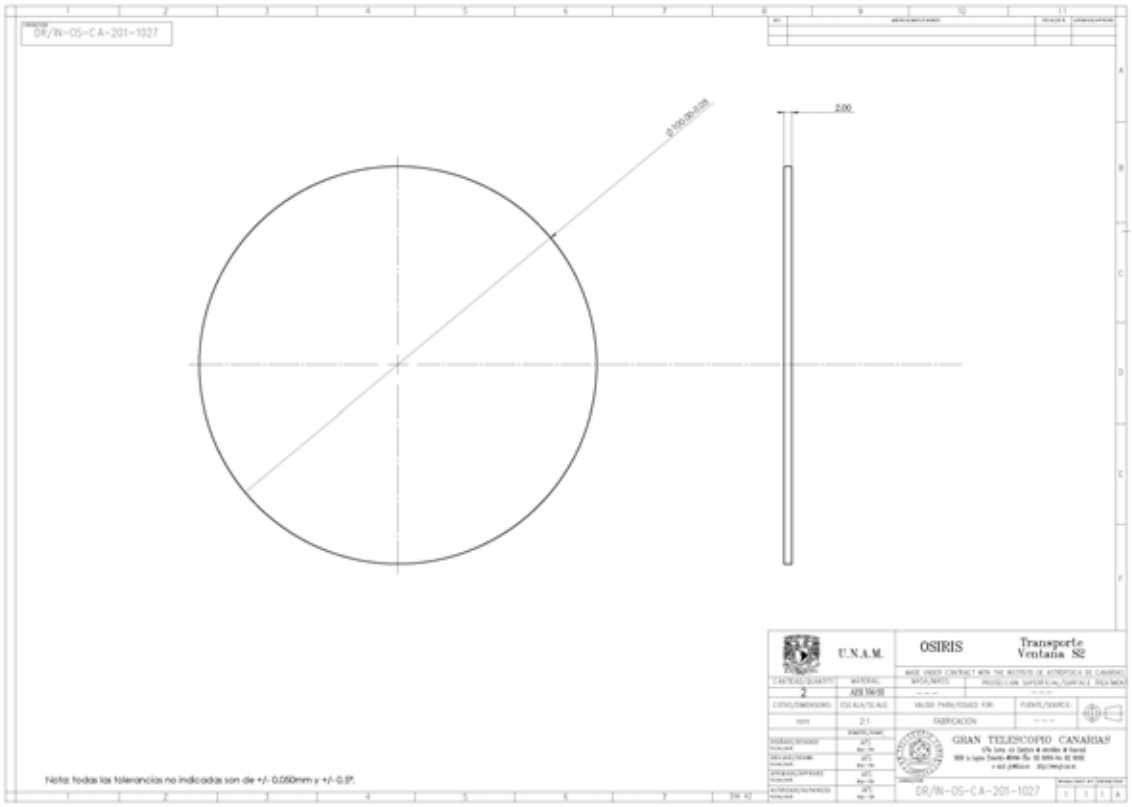

DR/IN-OS-CA-201-1023
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte Ventana S1
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1023
Nota: las tolerancias no indicadas son de +/- 0.05 mm y +/- 0.5°.

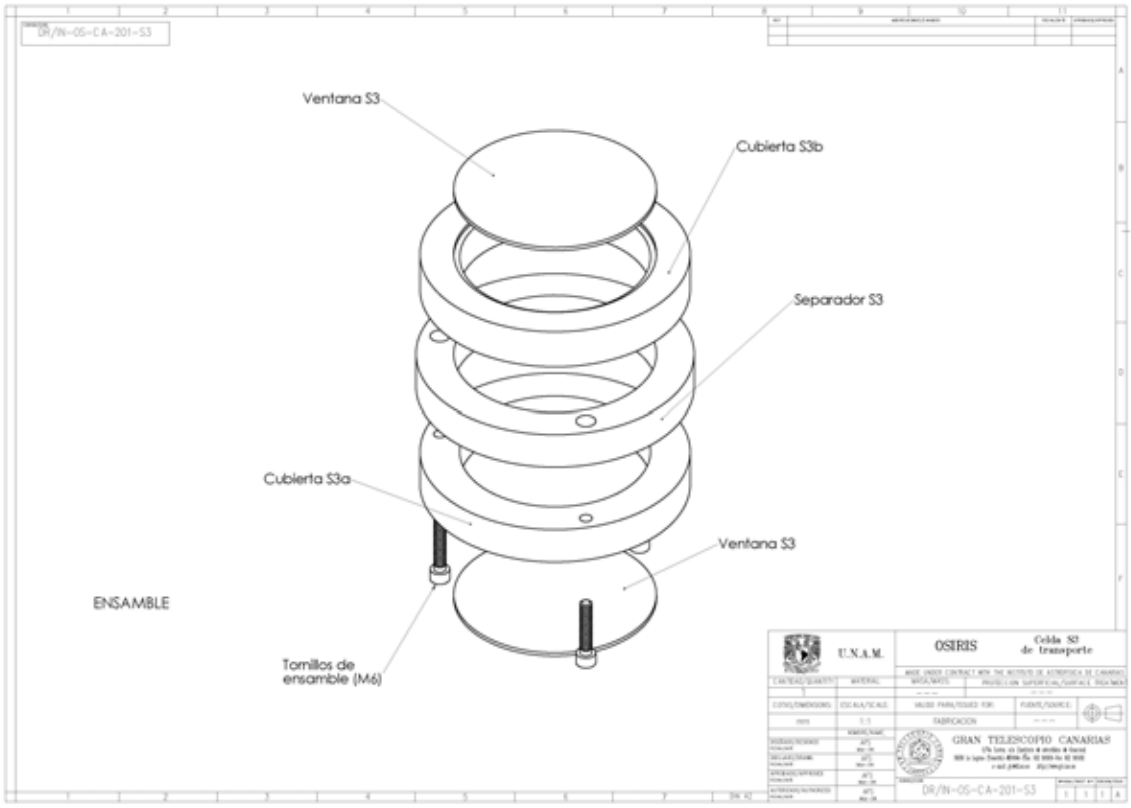

DR/IN-OS-CA-201-S2
Ventana S2
Cubierta S2b
Separador S2
Singlete S2
Cubierta S2a
ENSAMBLE
Ventana S2
Tornillos de ensamble (M6)
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S2a
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-S2

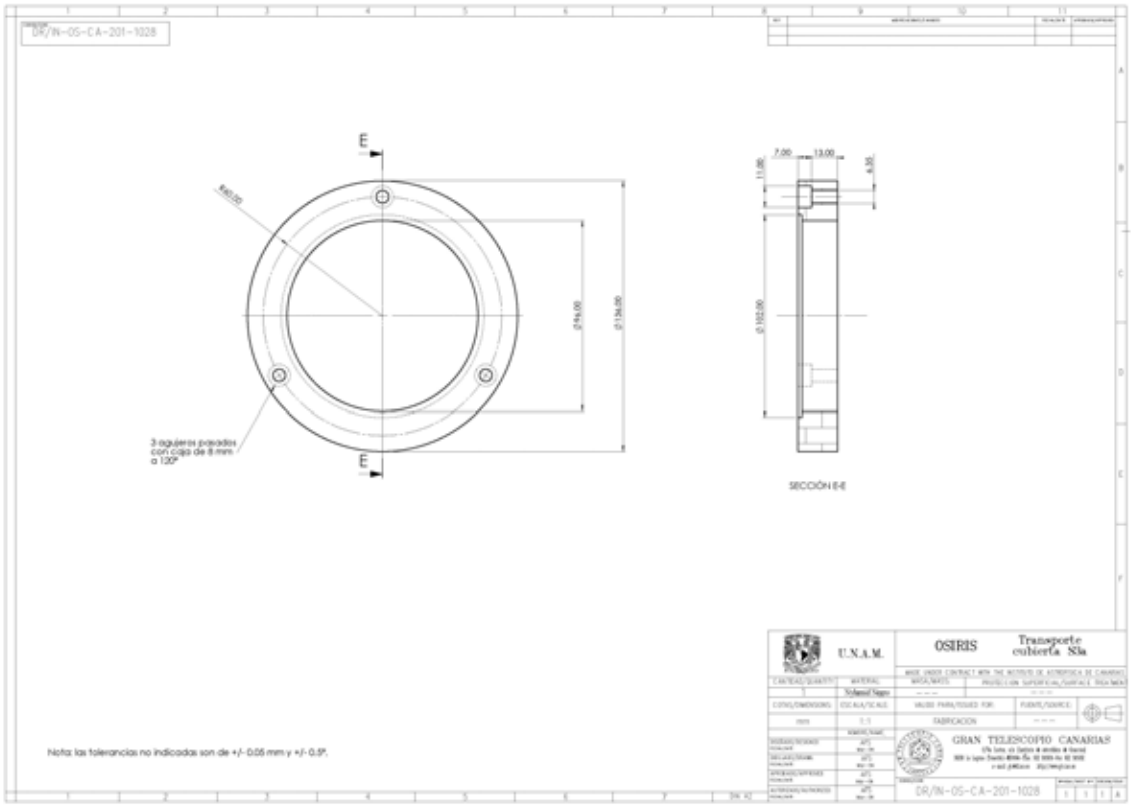

DR/IN-OS-CA-201-1024
C
C
3 agujeros pasados con caja de 8 mm a 120°
Ø 94.00
Ø 134.00
7.00
13.00
4.25
11.00
Ø 100.00
SECCIÓN C-C
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S2a
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1024
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050mm y +/- 0.5°.

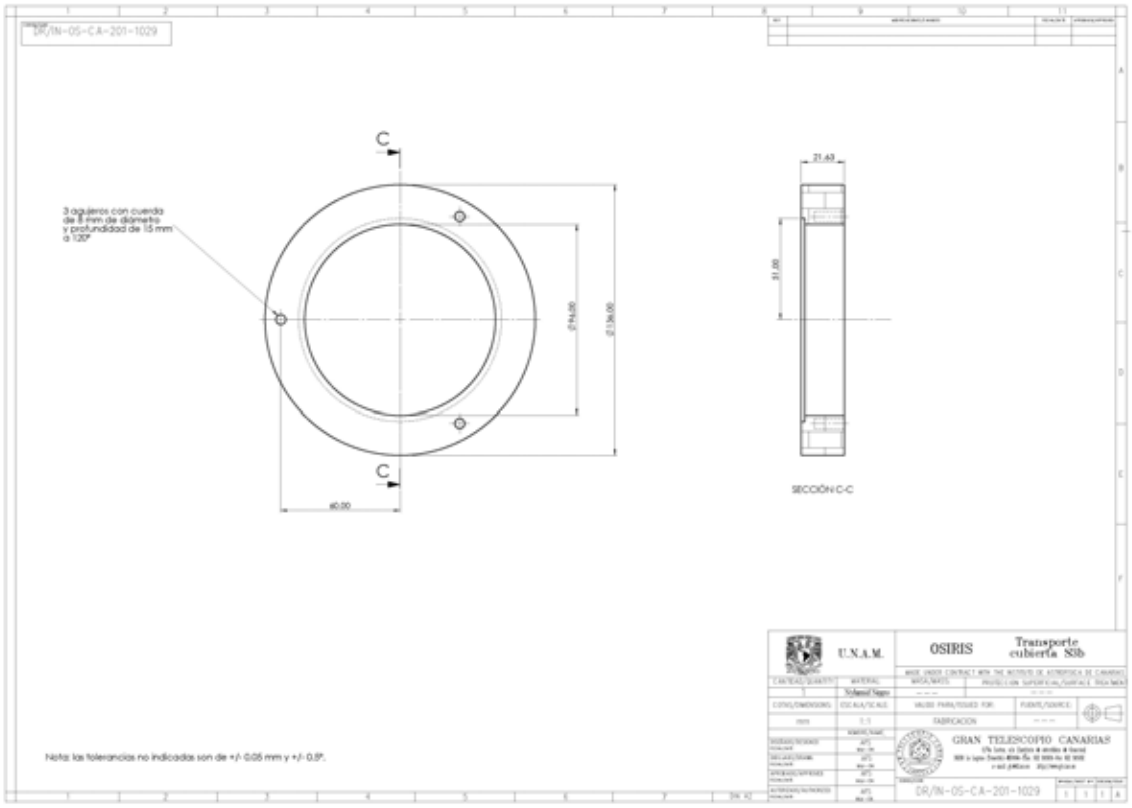

DR/IN-OS-CA-201-1025
B
B
3 agujeros con cuerda de 8 mm de diámetro y profundidad de 15 mm a 120°
Ø 94.00
Ø 134.00
39.00
20.00
50.00
13.00
SECCIÓN B-B
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S2b
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1025
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050mm y +/- 0.5°.

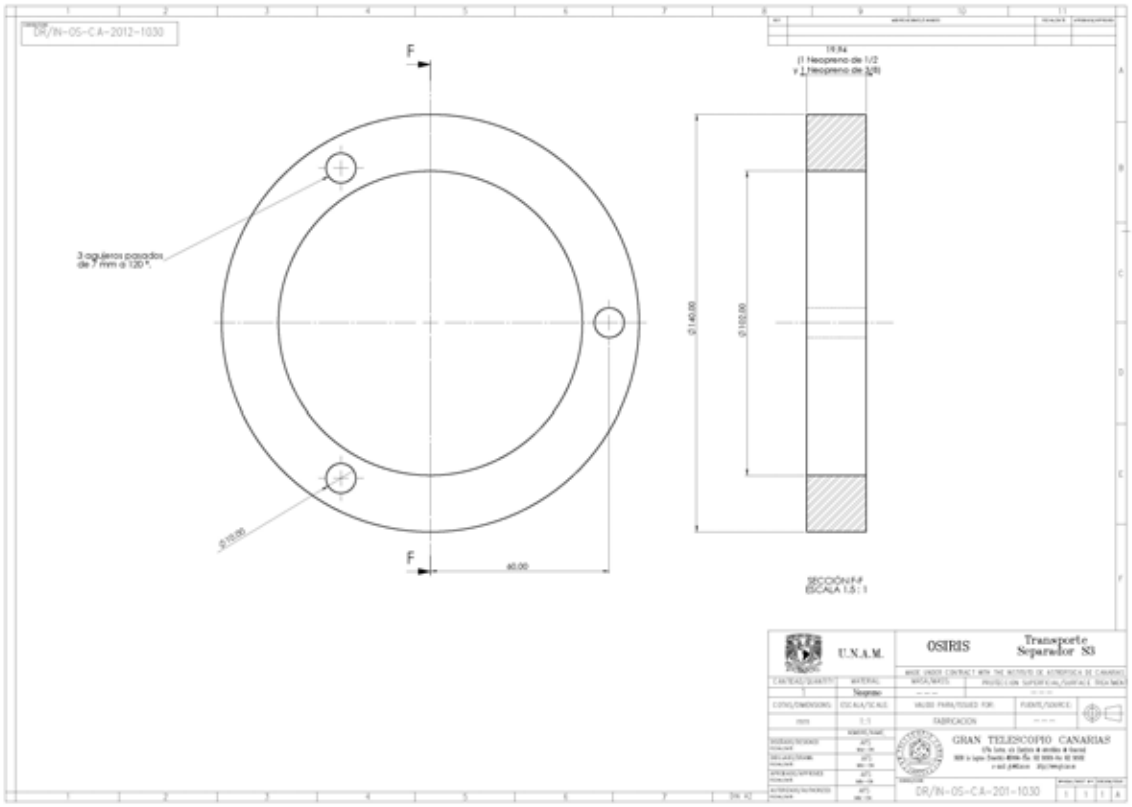

DR/IN-05-CA-201-1026
E
3 agujeros pasados de 7 mm A 120°
E
60.00
14.80
(2 Neopreno de 3/8)
SECCIÓN E-E
ESCALA 1.5:1
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte Separador S2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1026

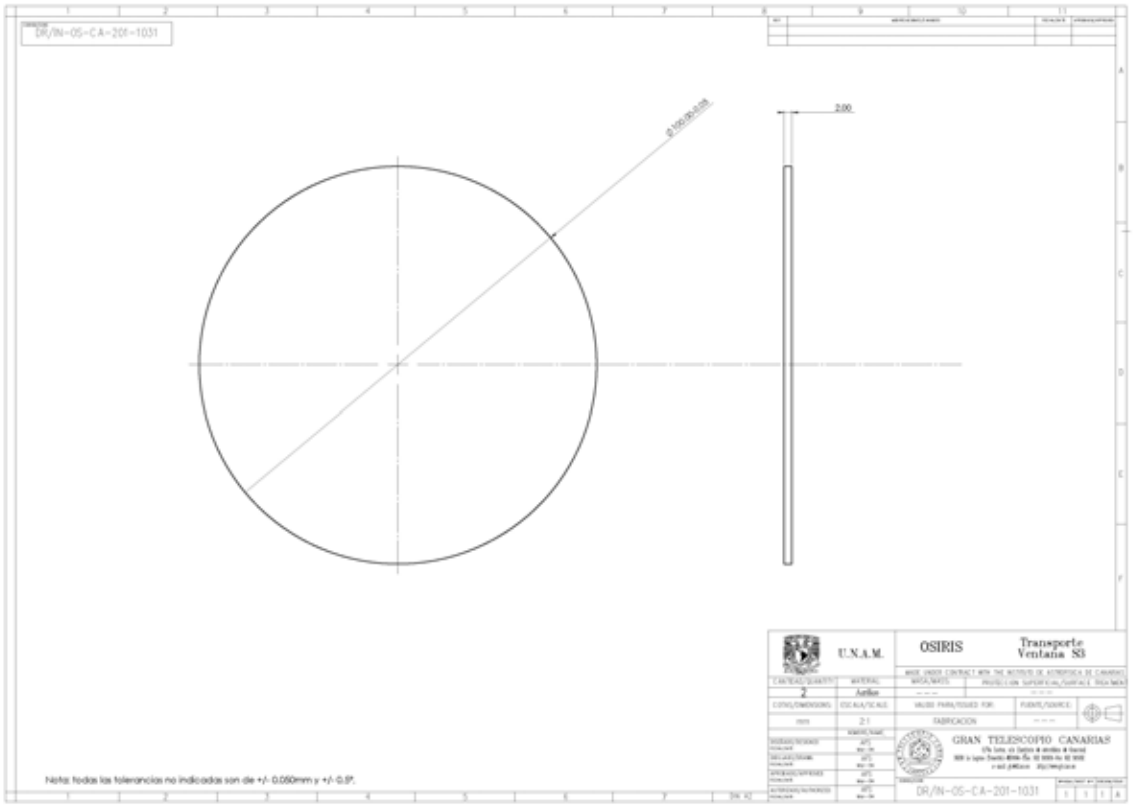

DR/IN-05-CA-201-1027
2.00
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte Ventana S2
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1027
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050mm y +/- 0.5°.

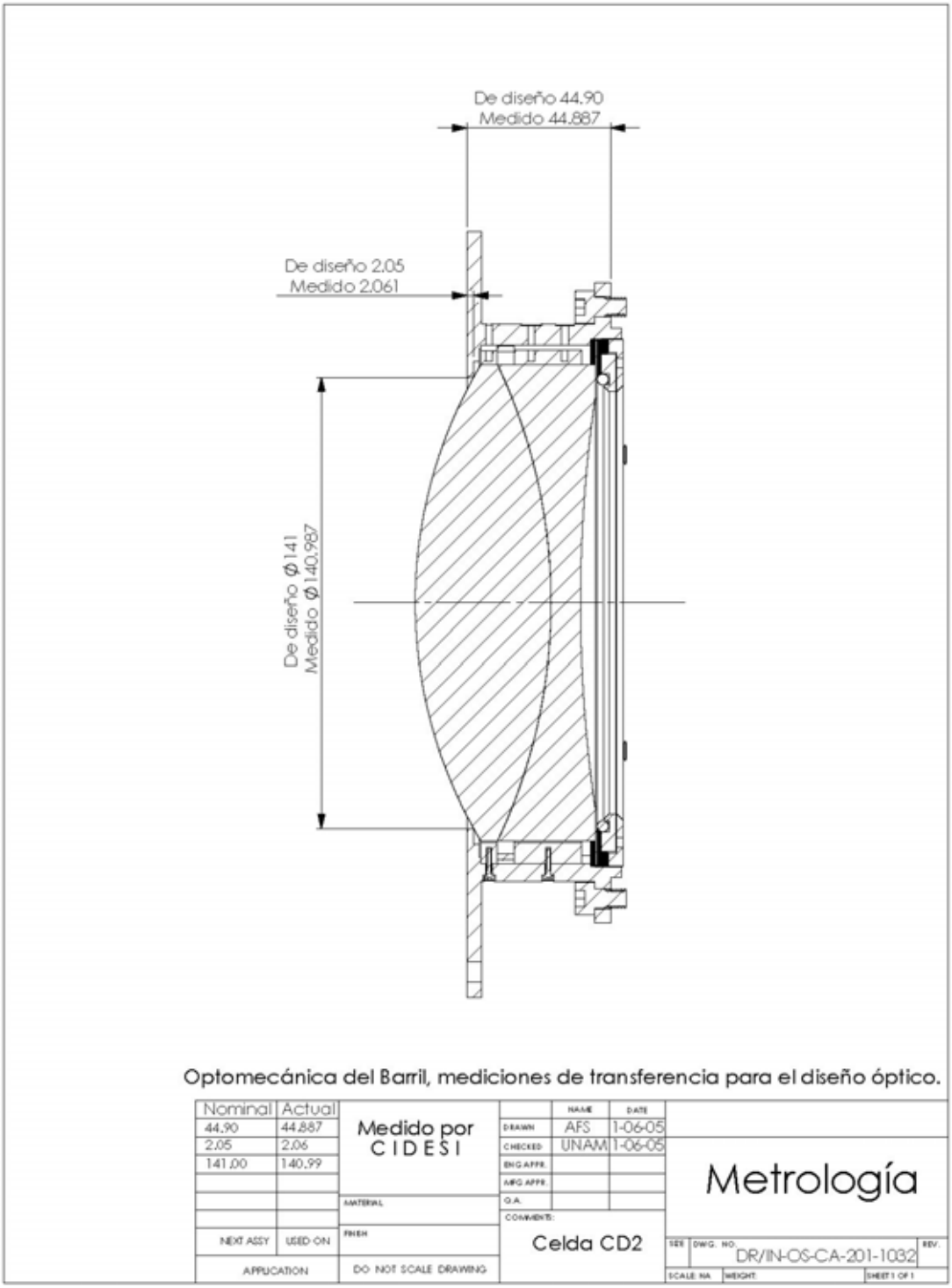

DR/IN-OS-CA-201-S3
Ventana S3
Cubierta S3b
Separador S3
Cubierta S3a
Ventana S3
ENSAMBLE
Tornillos de ensamble (M6)
U.N.A.M.
OSIRIS
Celda S3 de transporte
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-S3

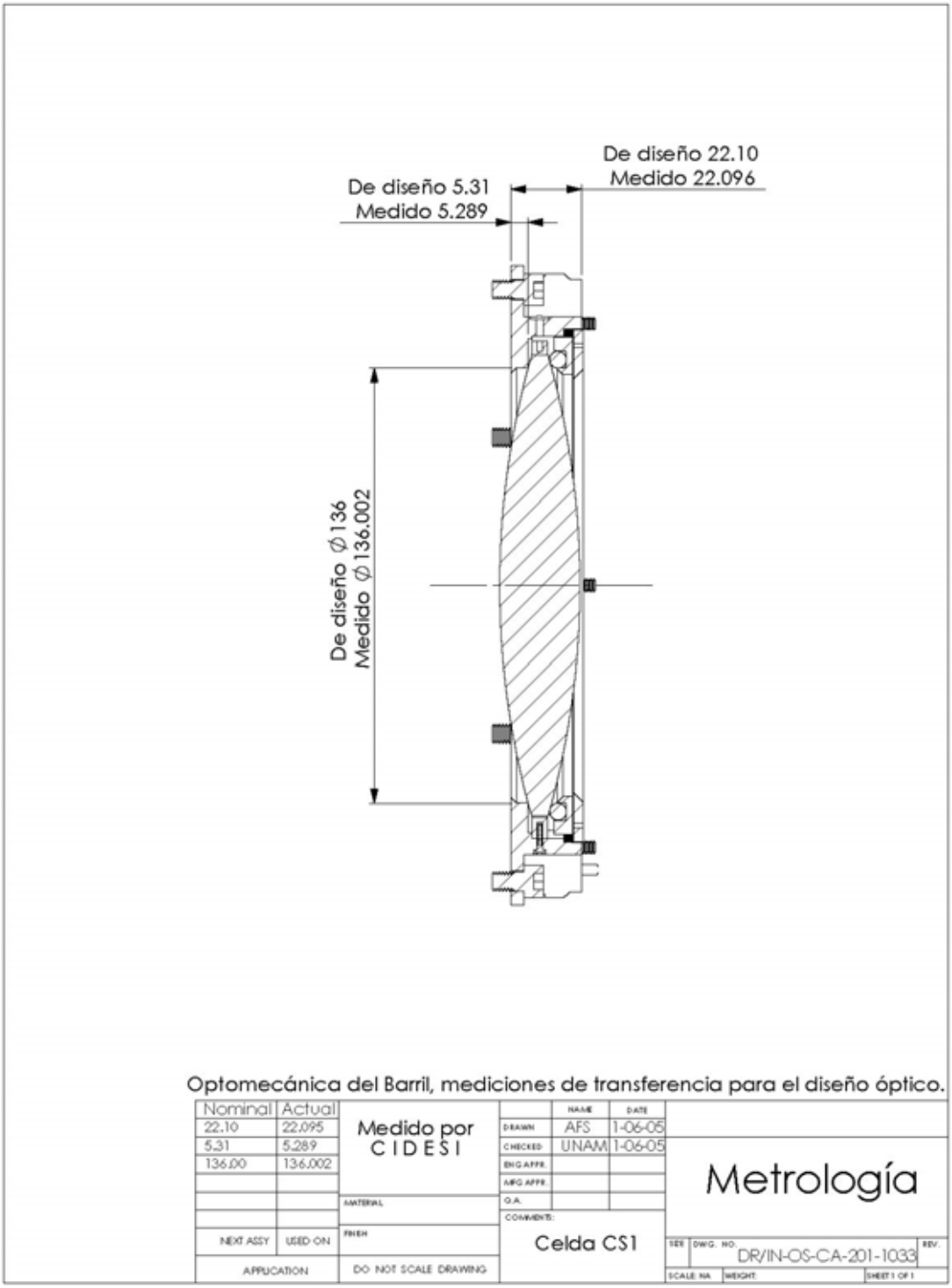

DR/IN-OS-CA-201-1028
E
E
3 agujeros pasados con caja de 8 mm a 120°
SECCIÓN E-E
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S3a
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1028
Nota: las tolerancias no indicadas son de +/- 0.05 mm y +/- 0.5°.

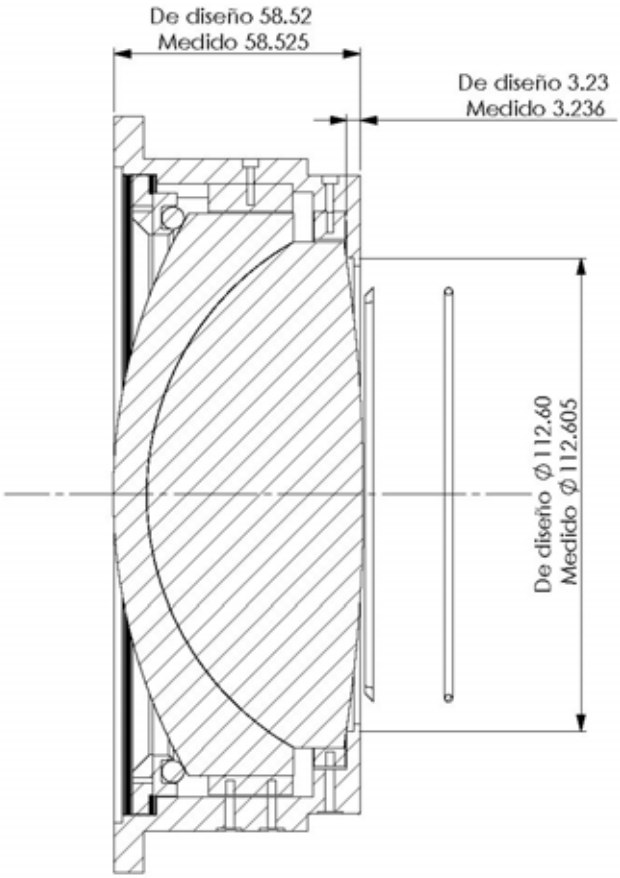

DR/IN-05-CA-201-1029
C
C
3 agujeros con cuerda de 8 mm de diámetro y profundidad de 15 mm a 120°
Ø154.00
Ø196.00
60.00
21.63
31.00
SECCIÓN C-C
Nota: las tolerancias no indicadas son de +/- 0.05 mm y +/- 0.5°.
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte cubierta S3b
Schmid Sapo
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1029


DR/IN-05-CA-2012-1030
F
F
3 agujeros pasados de 7 mm a 120 °.
Ø10.00
60.00
19.84
(1 Neoprene de 1/2 y 1 Neoprene de 3/8)
Ø140.00
Ø102.00
SECCIÓN F-F
ESCALA 1.5 : 1
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte Separador S3
Neoprene
TABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-05-CA-201-1030


DR/IN-OS-CA-201-1031
2.00
U.N.A.M.
OSIRIS
Transporte
Ventana S3
2
Anillo
2:1
FABRICACION
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-201-1031
Nota: todas las tolerancias no indicadas son de +/- 0.050mm y +/- 0.5°.


De diseño 44.90
Medido 44.887
De diseño 2.05
Medido 2.061
De diseño Ø141
Medido Ø140.987
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
44.90
44.887
2.05
2.06
141.00
140.99
Medido por
CIDESI
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
Celda CD2
Metrología
MATERIAL
FINISH
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
DO NOT SCALE DRAWING
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1032
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1


De diseño 22.10
Medido 22.096
De diseño 5.31
Medido 5.289
De diseño Ø136
Medido Ø136.002
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
22.10
22.095
5.31
5.289
136.00
136.002
Medido por
CIDESI
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
Celda CS1
Metrología
MATERIAL
FINISH
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
DO NOT SCALE DRAWING
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1033
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1



Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.

Nominal	Actual
58.52	58.525
3.23	3.236
112.60	112.605

Medido por CIDESI

	NAME	DATE
DRAWN	AFS	1-06-05
CHECKED	UNAM	1-06-05
ENG APPR.		
MFG APPR.		
Q.A.		

MATERIAL

FINISH

NEXT ASSY | USED ON

APPLICATION

DO NOT SCALE DRAWING

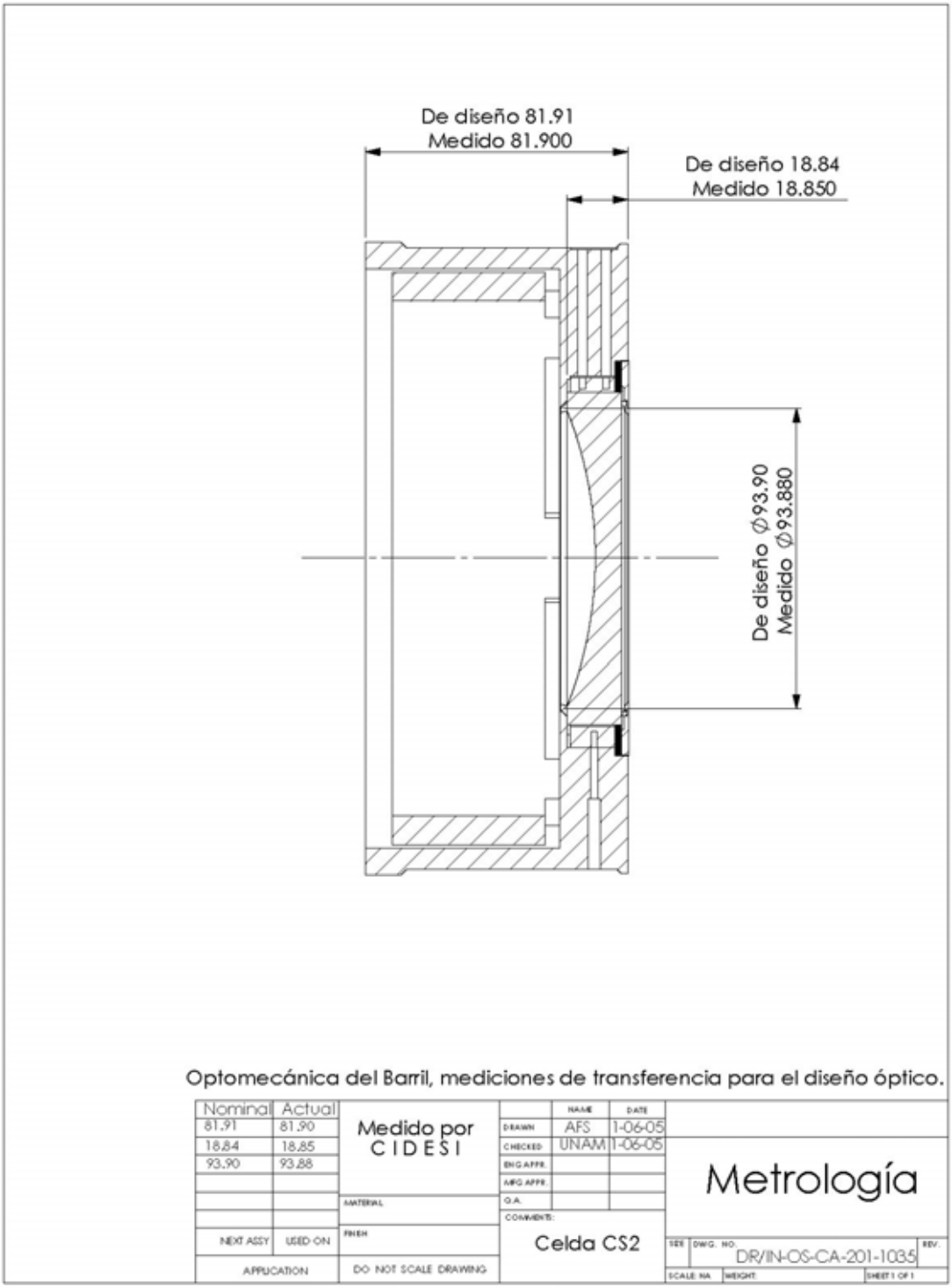
COMMENTS:

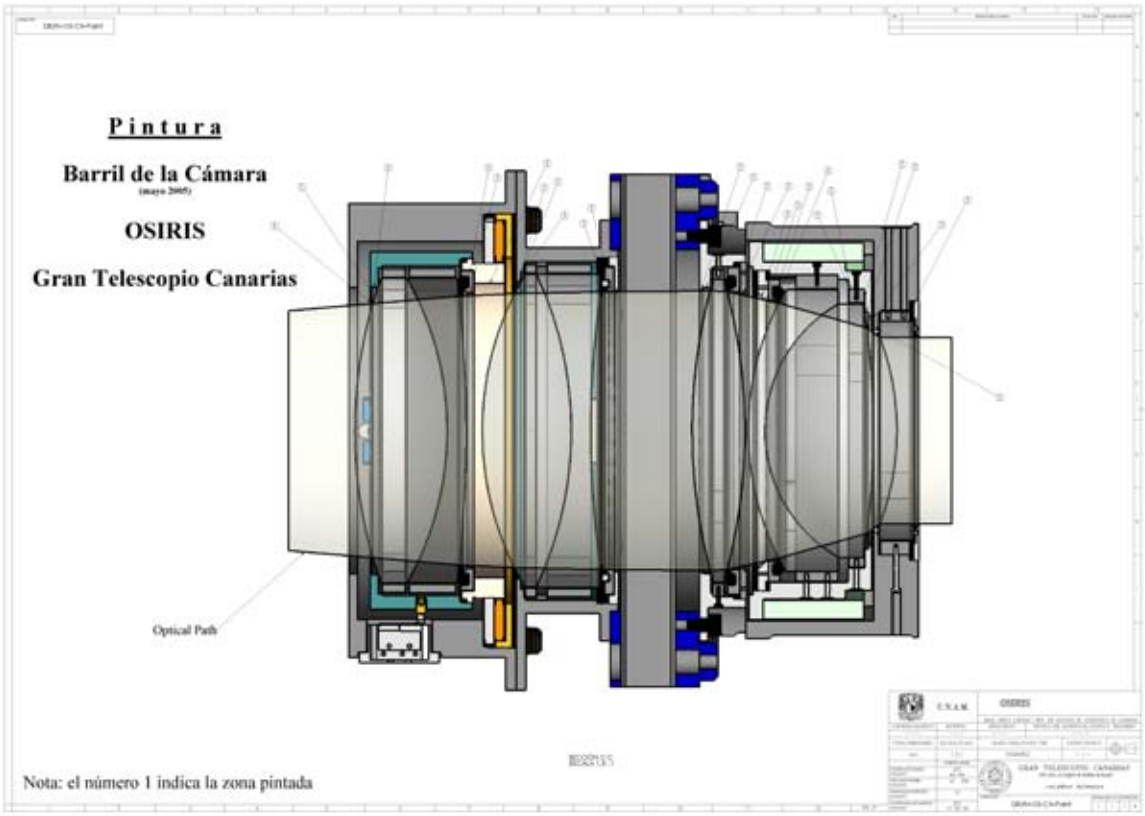
Celda CD3

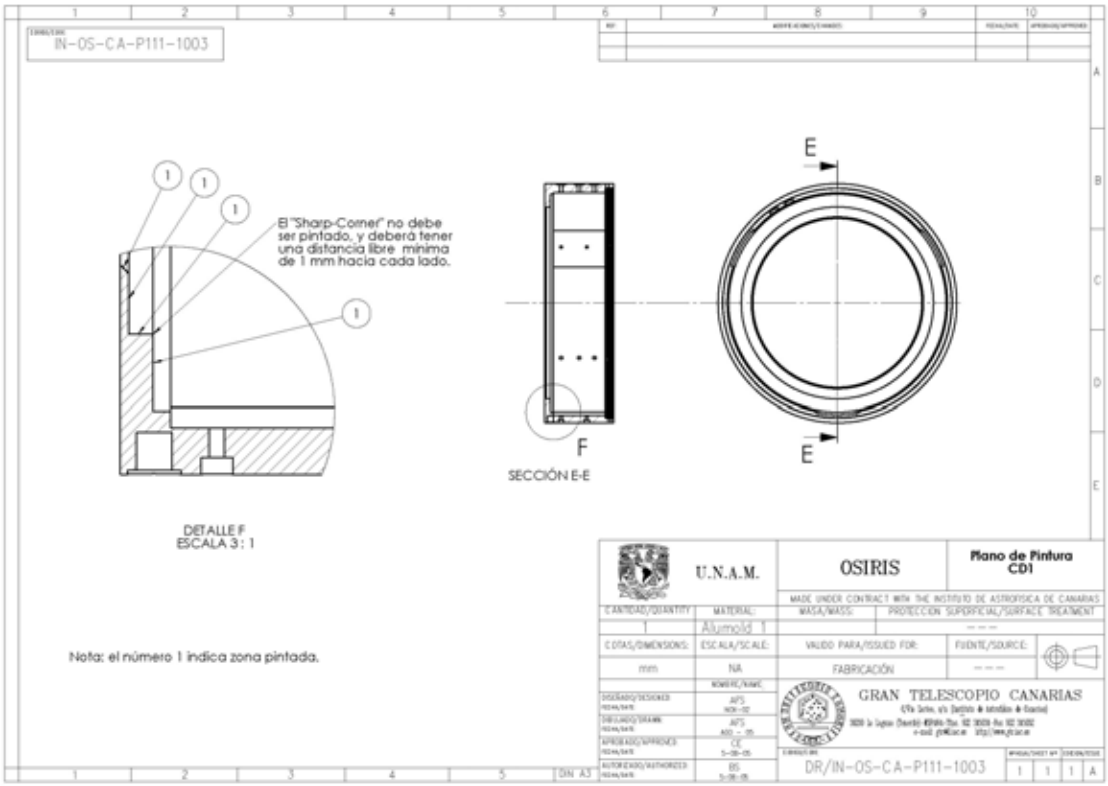
Metrología

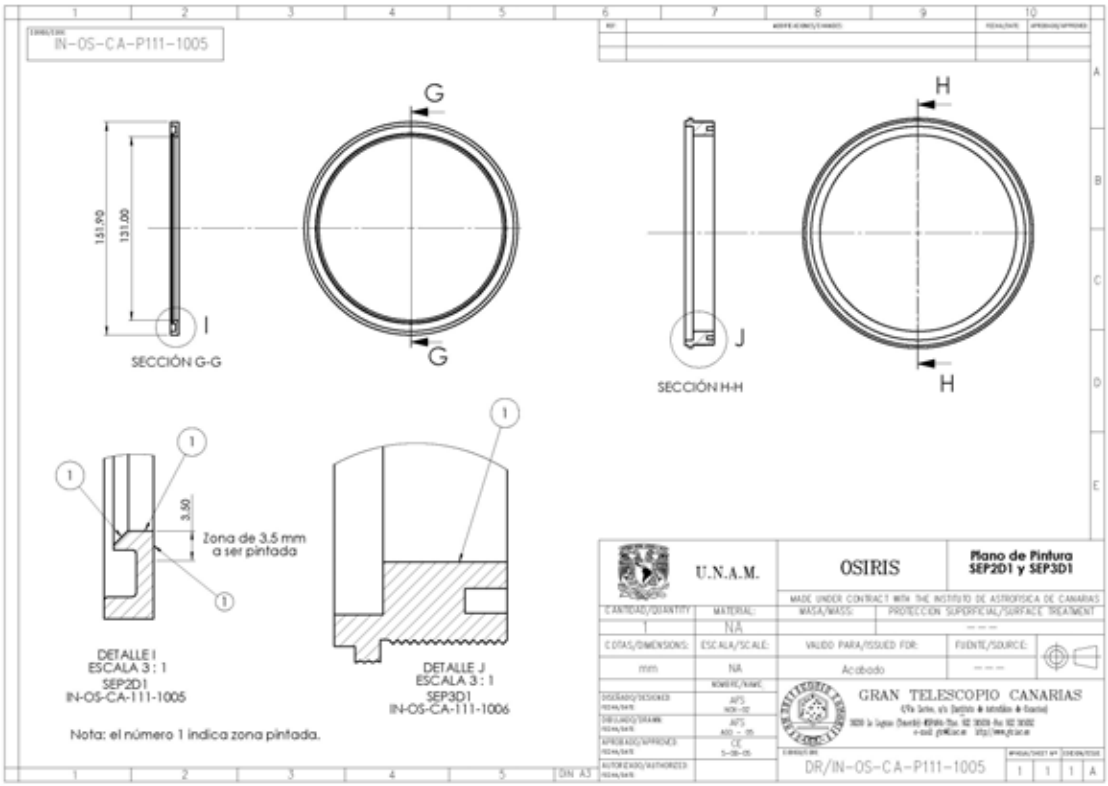
SIZE | DWG. NO. DR/IN-OS-CA-201-1034 | REV.

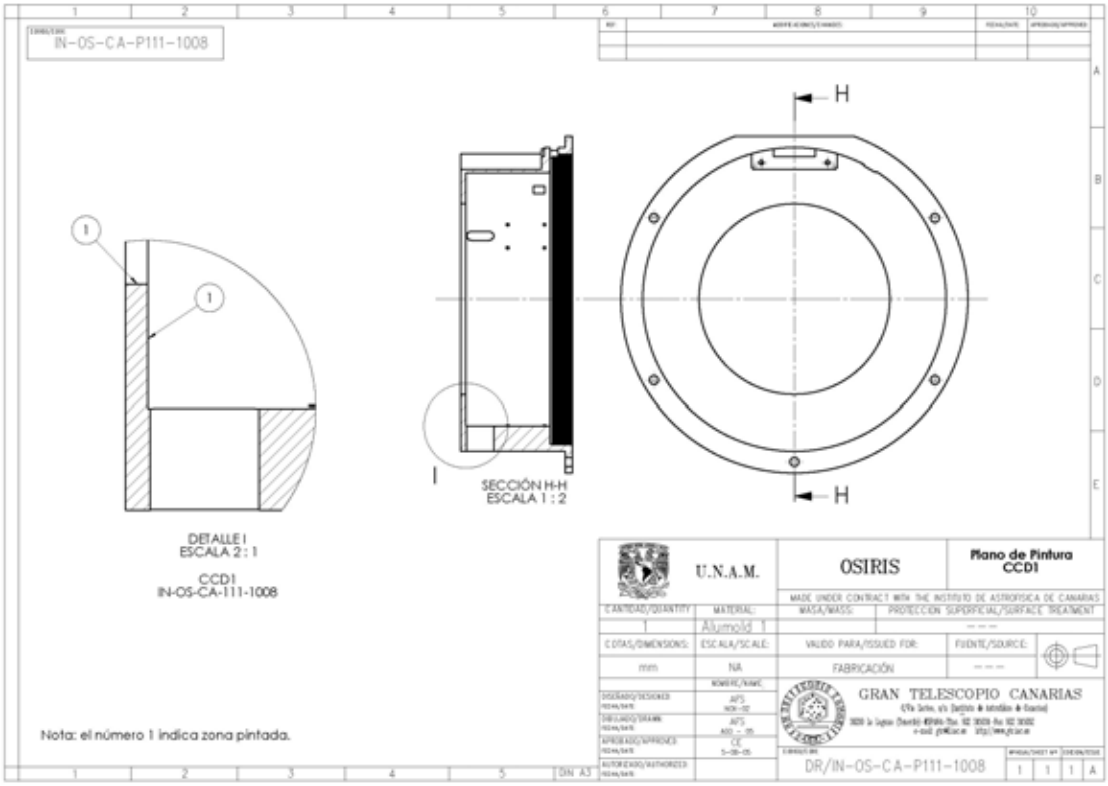
SCALE: NA | WEIGHT: | SHEET 1 OF 1

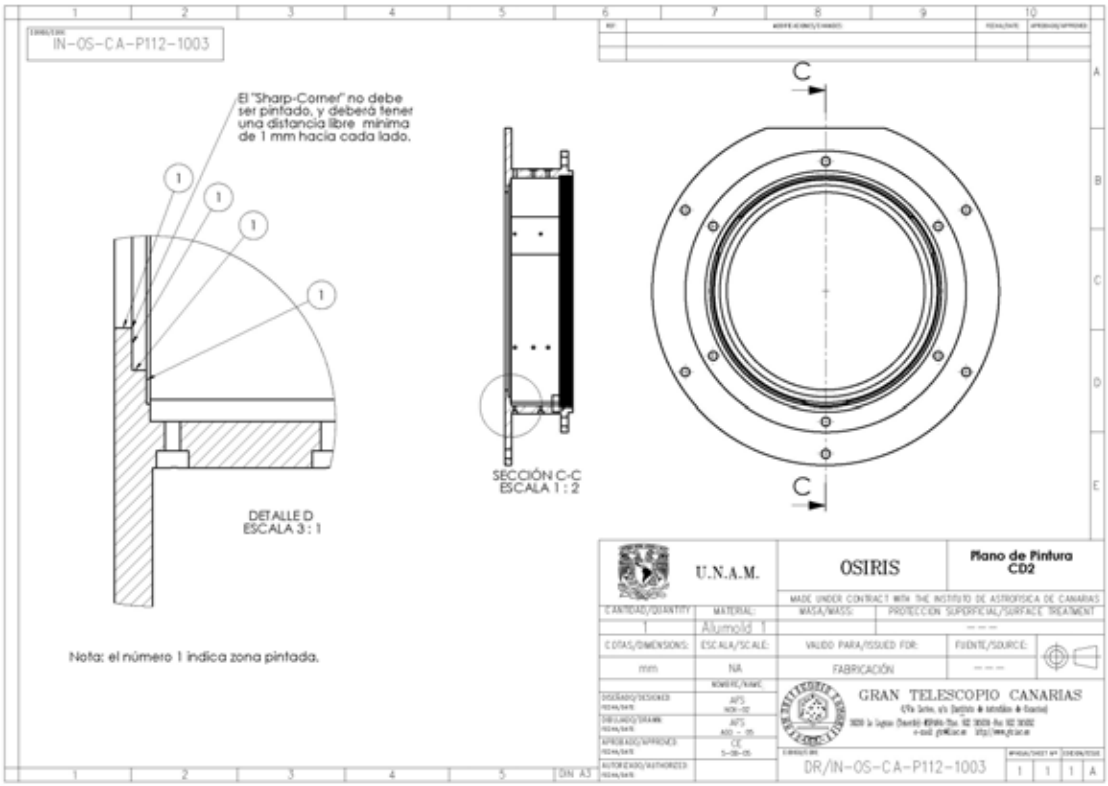

De diseño 81.91
Medido 81.900
De diseño 18.84
Medido 18.850
De diseño ∅93.90
Medido ∅93.880
Optomecánica del Barril, mediciones de transferencia para el diseño óptico.
Nominal
Actual
81.91
81.90
18.84
18.85
93.90
93.88
Medido por
CIDESI
NAME
DATE
DRAWN
AFS
1-06-05
CHECKED
UNAM
1-06-05
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
COMMENTS:
Celda CS2
MATERIAL
FINISH
DO NOT SCALE DRAWING
NEXT ASSY
USED ON
APPLICATION
Metrología
SIZE
DWG. NO.
DR/IN-OS-CA-201-1035
REV.
SCALE: NA
WEIGHT:
SHEET 1 OF 1

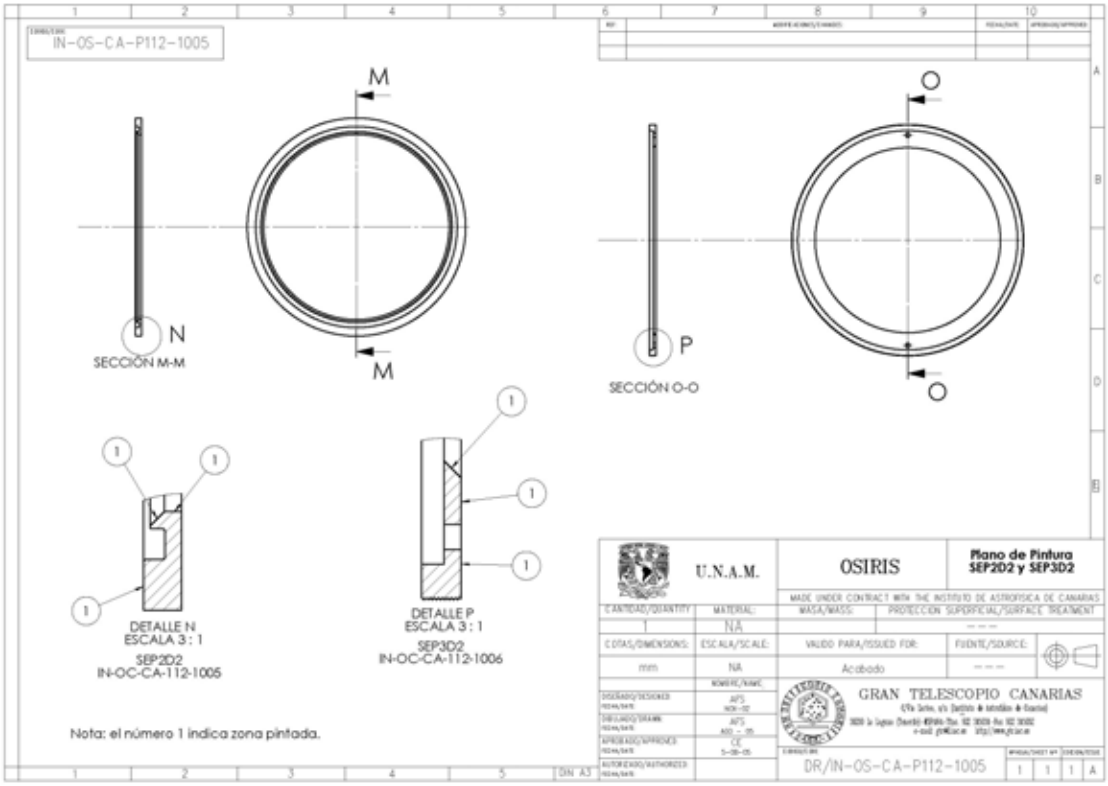

Pintura
Barril de la Cámara
(mayo 2005)
OSIRIS
Gran Telescopio Canarias
Optical Path
Nota: el número 1 indica la zona pintada
U.N.A.M.
OSIRIS

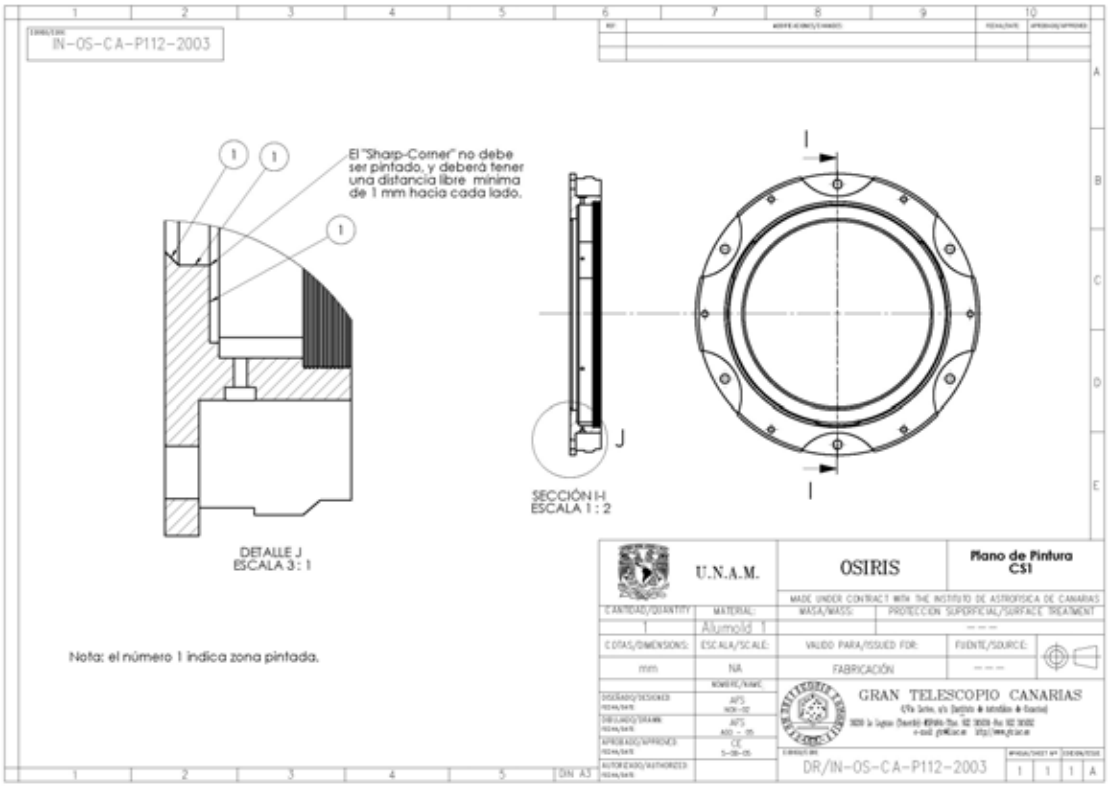

IN-OS-CA-P111-1003
El "Sharp-Corner" no debe ser pintado, y deberá tener una distancia libre mínima de 1 mm hacia cada lado.
DETALLE F
ESCALA 3 : 1
SECCIÓN E-E
E
F
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CD1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
Alumold 1
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
COTAS/DIMENSIONS:
mm
ESCALA/SCALE:
NA
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FABRICACIÓN
FUENTE/SOURCE:
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P111-1003
DIN A3

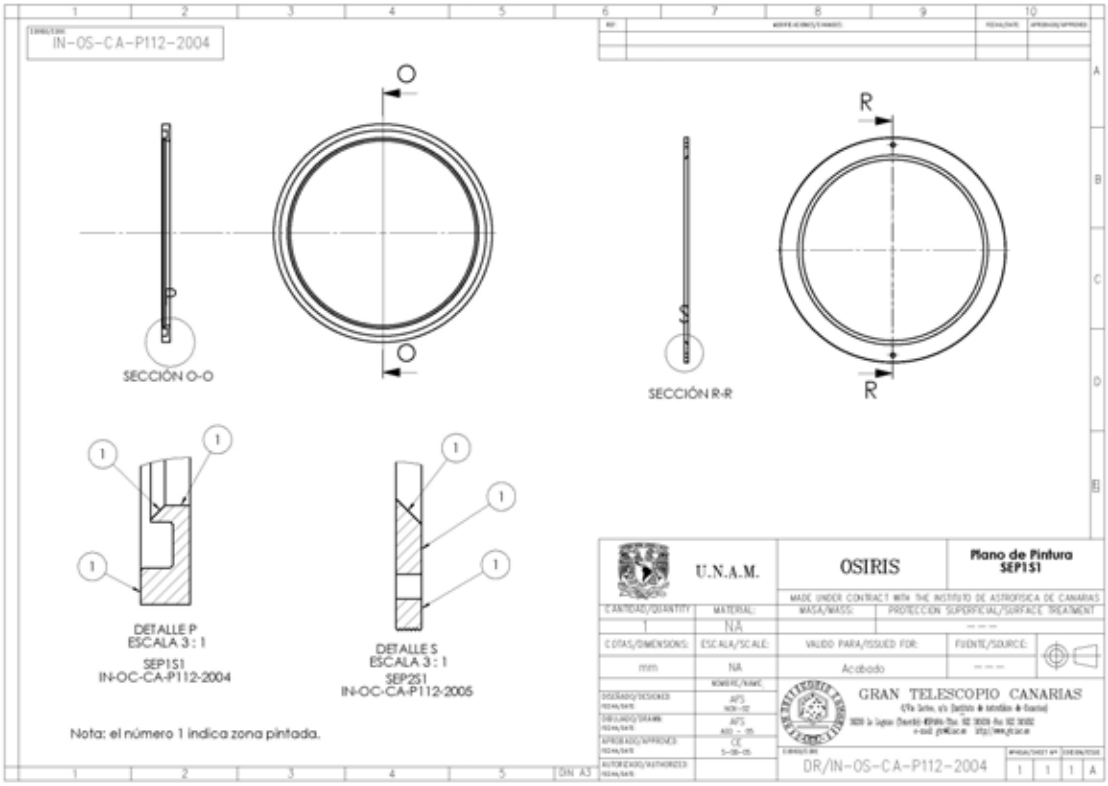

IN-OS-CA-P111-1005
G
G
151.90
131.00
I
SECCIÓN G-G
H
H
J
SECCIÓN H-H
1
3.50
Zona de 3.5 mm
a ser pintada
DETALLE I
ESCALA 3 : 1
SEP2D1
IN-OS-CA-111-1005
DETALLE J
ESCALA 3 : 1
SEP3D1
IN-OS-CA-111-1006
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
SEP2D1 y SEP3D1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
NA
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
Acabado
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P111-1005
DIN A3

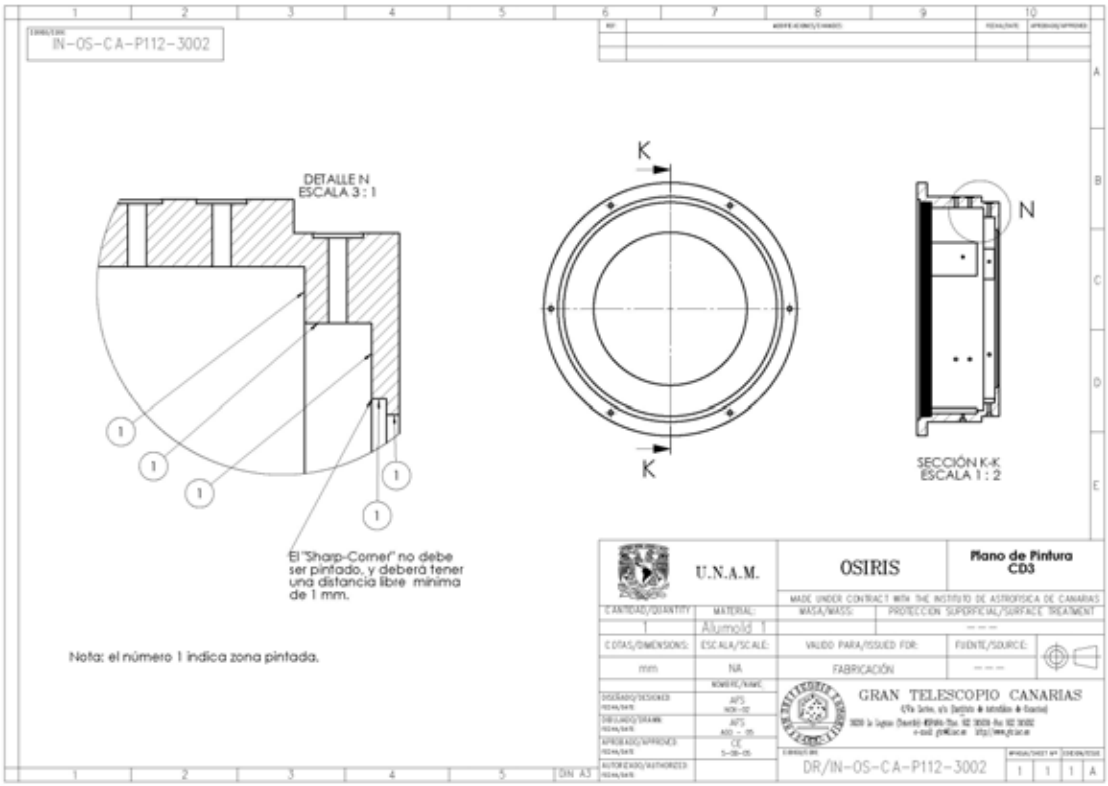

IN-OS-CA-P111-1008
H
H
1
DETALLE I
ESCALA 2 : 1
CCD1
IN-OS-CA-111-1008
I
SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 2
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CCD1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
1
Aluminio 1
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
FABRICACIÓN
NOMBRE/NAME
DISEÑADO/DESIGNED
DIBUJADO/DRAWN
APROBADO/APPROVED
AUTORIZADO/AUTHORIZED
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P111-1008
DIN A3

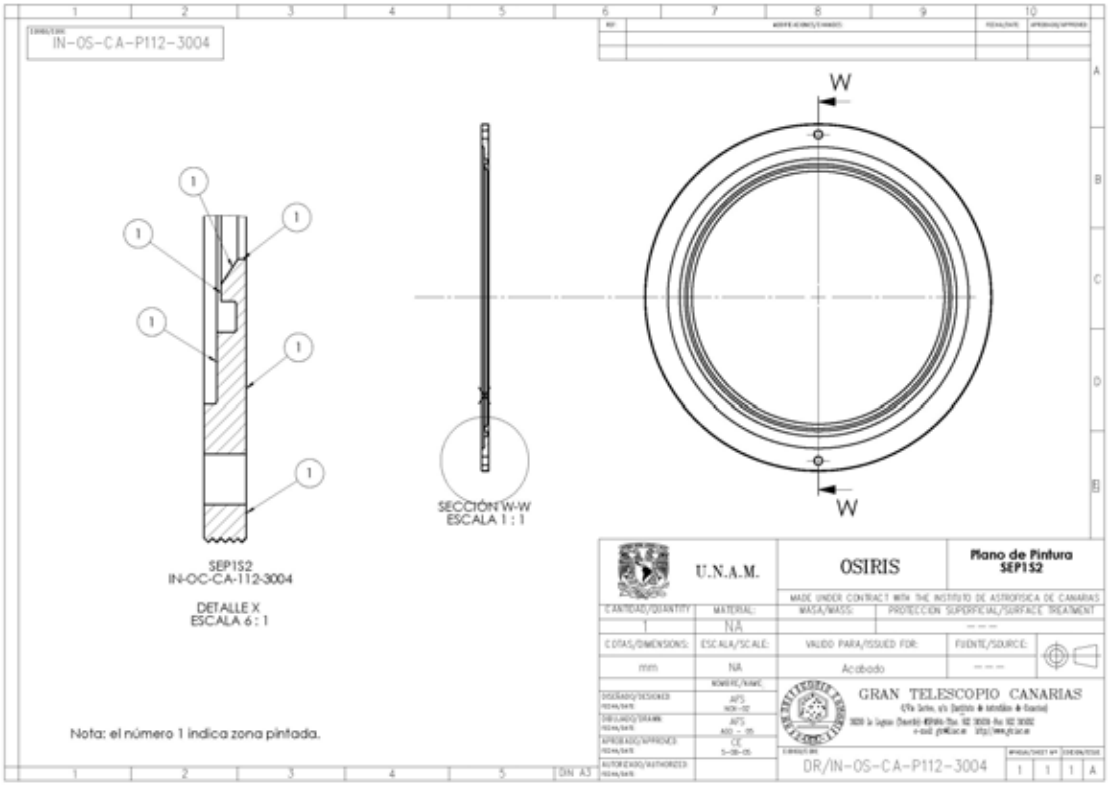

IN-OS-CA-P112-1003
El "Sharp-Corner" no debe ser pintado, y deberá tener una distancia libre mínima de 1 mm hacia cada lado.
DETALLE D
ESCALA 3 : 1
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 2
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CD2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
Alumoíd 1
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-1003

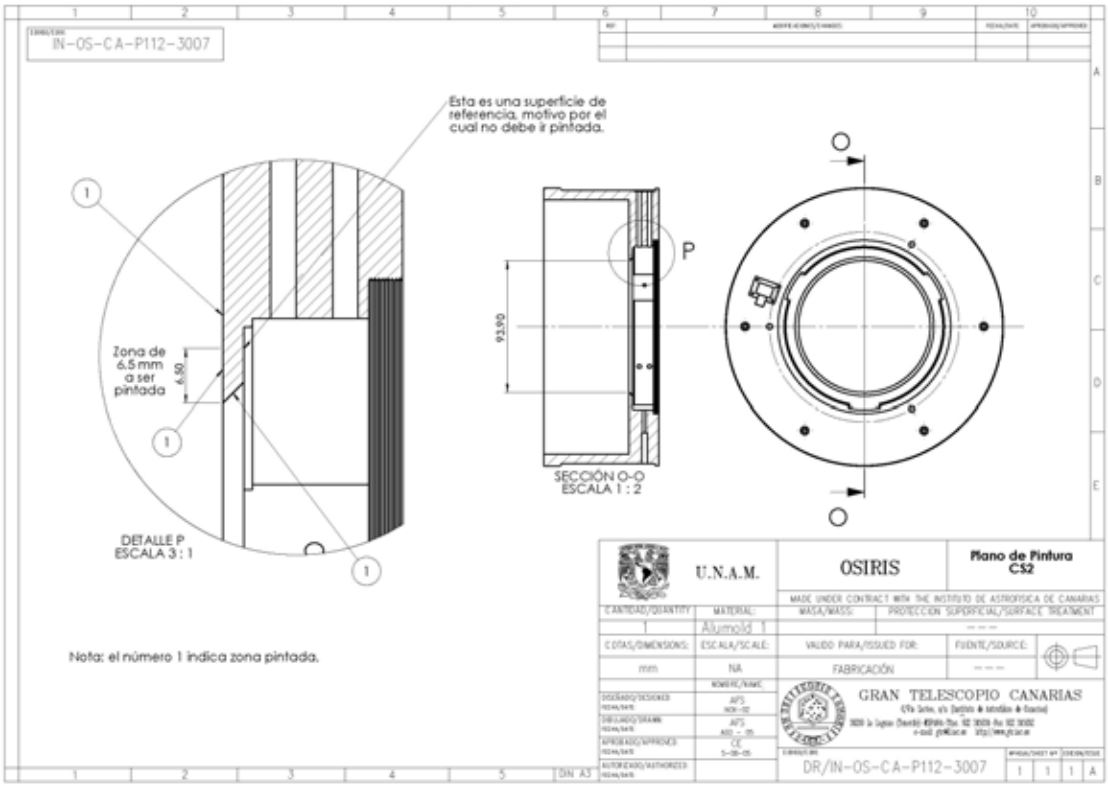

IN-OS-CA-P112-1005
SECCIÓN M-M
SECCIÓN O-O
DETALLE N
ESCALA 3 : 1
SEP2D2
IN-OC-CA-112-1005
DETALLE P
ESCALA 3 : 1
SEP3D2
IN-OC-CA-112-1006
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
SEP2D2 y SEP3D2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
NA
Acabado
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-1005

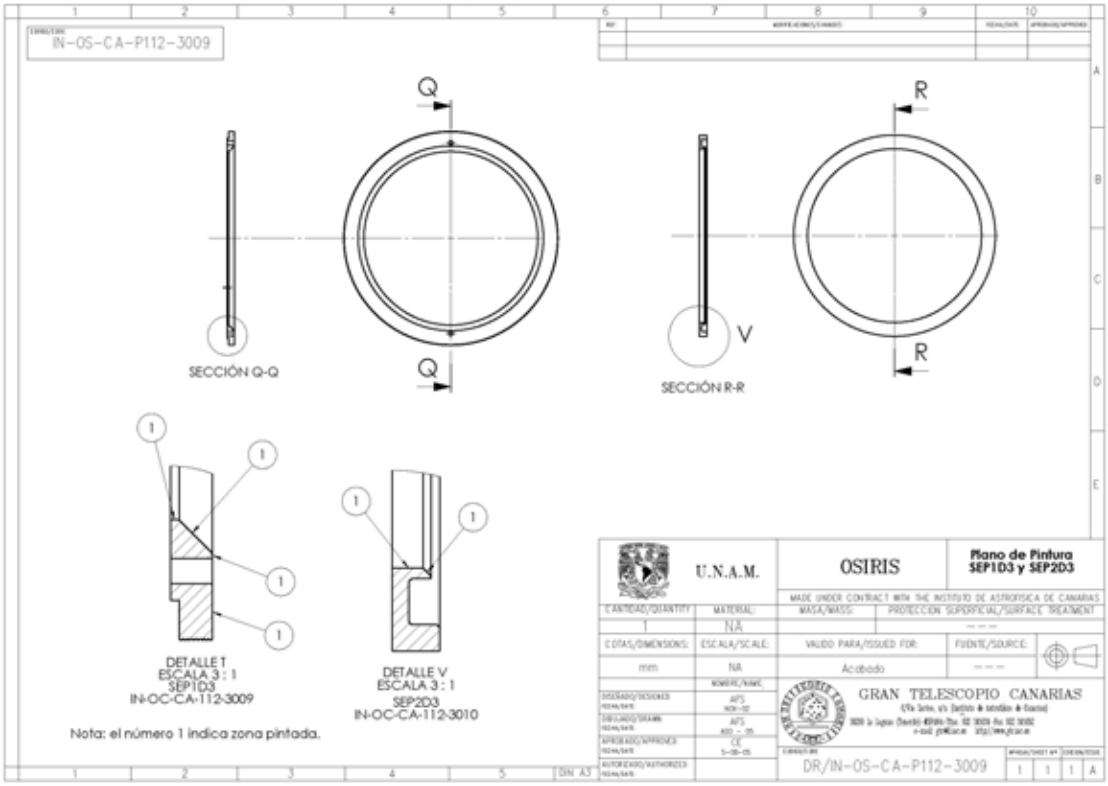

IN-OS-CA-P112-2003
El "Sharp-Corner" no debe ser pintado, y deberá tener una distancia libre mínima de 1 mm hacia cada lado.
DETALLE J
ESCALA 3 : 1
SECCIÓN I-I
ESCALA 1 : 2
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CS1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
Aluminio 1
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-2003
DIN A3


IN-OS-CA-P112-2004
SECCIÓN O-O
SECCIÓN R-R
DETALLE P
ESCALA 3 : 1
SEP1S1
IN-OC-CA-P112-2004
DETALLE S
ESCALA 3 : 1
SEP2S1
IN-OC-CA-P112-2005
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
SEP1S1
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
NA
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
Acabado
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-2004
DIN A3


IN-OS-CA-P112-3002
DETALLE N
ESCALA 3 : 1
K
K
N
SECCIÓN K-K
ESCALA 1 : 2
El "Sharp-Corner" no debe ser pintado, y deberá tener una distancia libre mínima de 1 mm.
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CD3
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
Aluminio 1
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-3002
DIN A3


IN-OS-CA-P112-3004
W
W
SEP1S2
IN-OC-CA-112-3004
DETALLE X
ESCALA 6 : 1
SECCIÓN W-W
ESCALA 1 : 1
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
SEP1S2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
NA
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
Acabado
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-3004
DIN A3


IN-OS-CA-P112-3007
Esta es una superficie de referencia, motivo por el cual no debe ir pintada.
Zona de 6.5 mm a ser pintada
6.50
DETALLE P
ESCALA 3 : 1
93.90
P
SECCIÓN O-O
ESCALA 1 : 2
O
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
CS2
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
Aluminio 1
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
FABRICACIÓN
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-3007
DIN A3


IN-OS-CA-P112-3009
Q
SECCIÓN Q-Q
R
V
SECCIÓN R-R
DETALLE T
ESCALA 3 : 1
SEP1D3
IN-OC-CA-112-3009
DETALLE V
ESCALA 3 : 1
SEP2D3
IN-OC-CA-112-3010
Nota: el número 1 indica zona pintada.
U.N.A.M.
OSIRIS
Plano de Pintura
SEP1D3 y SEP2D3
MADE UNDER CONTRACT WITH THE INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
CANTIDAD/QUANTITY
MATERIAL:
MASA/MASS:
PROTECCION SUPERFICIAL/SURFACE TREATMENT
NA
COTAS/DIMENSIONS:
ESCALA/SCALE:
VALIDO PARA/ISSUED FOR:
FUENTE/SOURCE:
mm
NA
Acabado
GRAN TELESCOPIO CANARIAS
DR/IN-OS-CA-P112-3009
DIN A3