Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Azcapotzalco

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TECNOLÓGICO

“Diseño y construcción de un polariscopio didáctico para probetas de Lexan”

ABRAHAM CHAVELAS GONZÁLEZ

210301808

ASESORES:

ING. ROMY PÉREZ MORENO

DR. JOSÉ LUIS RAMÍREZ CRUZ

18-P

CIUDAD DE MÉXICO., JULIO 2018

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Ing. Romy Pérez Moreno.

Yo, Dr. José Luis Ramírez Cruz, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Dr. José Luis Ramírez Cruz.

Yo, Abraham Chavelas González, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Abraham Chavelas González.

Universidad Autónoma Metropolitana
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

CBI DIVISIÓN CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 17-O Fecha: 11/12/17 PI-A-MEC 043-17

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Abraham Chavelas González Matrícula: 210301808

Correo personal: pancho2814@hotmail.com

Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Departamento de Energía

Área de investigación: Sistemas Mecánicos de Frontera

Correo institucional: romy@azc.uam.mx

Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: José Luis Ramírez Cruz

No. económico/Teléfono: 26615 Adscripción/Puesto: Profesor asistente tiempo completo

Área de investigación/Departamento: Sistemas Mecánicos de Frontera

Correo electrónico: rcjl@correo.azc.uam.mx

Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

(●) Proyecto tecnológico ( ) Proyecto de investigación ( ) Estancia profesional ( ) Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y construcción de un polariscopio didáctico para probetas de Lexan.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: (●) No ( ) Sí Clave (?):

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un polariscopio didáctico para visualizar los campos de esfuerzos en probetas de Lexan.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	sí	Inicio 18-I
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		Término 18-P
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Ing. Romy Pérez Moreno

Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco CBI DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
11 DIC 2017
COORDINACIÓN DE MECÁNICA
Sello de la Coordinación de Estudios

Revisión: Febrero 2016

Originales: Coordinador de Estudios; Coordinación de Sistemas Escolares.
Copias: Alumno; Asesor(es).

RESUMEN.

Este reporte presenta el diseño y la construcción de un polariscopio didáctico, que es un dispositivo que nos permite visualizar los campos de esfuerzos como un patrón de colores, en el que se usarán probetas de Lexan las cuales fueron diseñadas con cambios geométricos para obtener concentradores de esfuerzos.

Se inicia dando una breve explicación de las bases teóricas que explican el funcionamiento del polariscopio, como son: la polarización de la luz, la fotoelasticidad y la birrefringencia.

Posteriormente, se describen las partes que componen el polariscopio y se muestra el proceso de diseño y construcción.

Finalmente, se muestran los resultados de las pruebas realizadas, la observación de las bandas de colores y su respectivo análisis.

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN……1
ANTECEDENTES……2
JUSTIFICACIÓN……3
OBJETIVOS……4
MARCO TEÓRICO……5
Luz polarizada……5
Birrefringencia……6
Fotoelasticidad……7
Polariscopio……9
DESARROLLO DEL PROYECTO……11
Selección de material……12
Propuesta 1……14
Propuesta 2……15
Propuesta 3……16
Probetas……16
Construcción……17
Bastidor……17
Riel……19
Tornillo superior……19
Tornillo inferior……20
Soporte del lente……21
Soporte del foco……21
RESULTADOS……22
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS……24
CONCLUSIONES……27
REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS……28
ENTREGABLES……30
Dibujo de conjunto……31
Riel……32

Barra inferior del marco……..33
Barra superior del marco……34
Camisa del tornillo superior……35
Barra lateral del marco……....36
Base del soporte……...……...37
Barra del soporte del lente……..38
Soporte del lente……..39
Barra del soporte del foco……..40
Porta foco……..…..41
Soporte del foco……..……....42
Tornillo superior……...43
Maneral……44
Tornillo inferior……45
Destorcedor……..46
Probeta 1……..47
Probeta 2……..48
Probeta 3……..49
Probeta 4……50

INTRODUCCIÓN.

En ingeniería mecánica, se enseña como diseñar y seleccionar elementos de máquinas destinados a la transmisión de potencia. Uno de los parámetros a considerar, al diseñar estos elementos, son los esfuerzos internos que sufren debido a su geometría y a las cargas que se aplican.

La fotoelasticidad es una técnica experimental que permite el análisis y la descripción de la distribución de los campos de esfuerzos en materiales birrefringentes sometidos a carga, para ello parten de los patrones de las franjas isocromáticas (describen la diferencia de los esfuerzos principales), y de los patrones de franjas isoclínicas (describen la dirección de los esfuerzos principales)[1]. Esta técnica se lleva a cabo en un banco de pruebas fotoelástico que consta de un instrumento para la producción y detección de luz polarizada llamado polariscopio. La fotoelasticidad se aplica a materiales birrefringentes como por ejemplo el acrílico. Este método proporciona una visión cuantitativa de las áreas sometidas a esfuerzos.

El polariscopio está formado por una fuente de luz blanca, cuyos rayos pasan por un lente polarizador que los hace vibrar en un solo plano. Posteriormente atraviesan la probeta que, al estar sometida a una carga, descompone el rayo en dos componentes desfasados. Finalmente, al pasar por un lente analizador, vuelven a vibrar en un solo plano y se muestra un patrón de bandas de colores en las zonas donde se concentran los esfuerzos y que se relaciona con la magnitud de las cargas.

Al ser un prototipo didáctico se buscó un diseño de construcción sencilla y de un material resistente, pero a la vez ligero. Las probetas contienen, en su geometría, concentradores de esfuerzos para facilitar la visualización de los campos, además de que el estudio de estos es únicamente cualitativo.

ANTECEDENTES.

Actualmente existen diversos equipos para realizar pruebas de fotoelasticidad, estos equipos son digitales y de importación lo que indica que su costo es muy elevado, además de tener un complemento para su estudio, es decir utilizan el software ANSYS con el método del elemento finito y le da un soporte a la ingeniería a través de la simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará un determinado producto bajo un entorno real. [2]

Considerando equipos no comerciales, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, publica el “Manual de Operación y el mantenimiento de un polariscopio y sus prácticas para el curso de diseño de máquinas 1, basados en el fenómeno de fotoelasticidad” donde se muestra un polariscopio diseñado dentro de la universidad y las prácticas que se realizan. [3]

JUSTIFICACIÓN.

Los doctores en ciencias pedagógicas, Nancy Montes de Oca Regio y Evelio Machado Ramírez en su artículo “Estrategias docentes y métodos de enseñanza-aprendizaje en la Educación Superior” concluyen que, como parte de la estrategia docente, deben elaborarse recursos didácticos que permitan proporcionar información, motivar a los estudiantes, guiar los aprendizajes, desarrollar habilidades, evaluar los conocimientos y habilidades, y proporcionar espacios para la expresión y la creación [4]. Por este motivo, se busca construir un prototipo que permita analizar y apreciar de manera visual los esfuerzos inducidos al aplicar una carga en probetas que representan, geométricamente, elementos de transmisión de potencia. Con esto se beneficia a los alumnos de Ingeniería Mecánica y Física en UEA como Diseño de Elementos de Máquinas I, donde en el tema 2, Diseño por resistencia estática y resistencia a la fatiga, se analizan estos esfuerzos.

OBJETIVOS.

Objetivo General:

Diseñar y construir un polariscopio didáctico para visualizar los campos de esfuerzos en probetas de Lexan.

Objetivos Particulares:

Diseñar el dispositivo de sujeción para las probetas, de forma que, al colocarlas, no provoquen esfuerzos que se puedan visualizar con el polariscopio.

Diseñar el dispositivo para aplicar una carga variable a las probetas.

Diseñar el cuerpo del polariscopio con medidas de 40 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de alto.

Construir el polariscopio.

Realizar cuatro tipos de probetas diferentes, cuya forma contenga concentradores de esfuerzos, que permitan visualizar los campos de esfuerzos con el polariscopio.

Evaluar el funcionamiento del polariscopio.

MARCO TEÓRICO.

Luz polarizada

La luz se puede tratar como una onda electromagnética transversal, cuyo plano de vibración es fijo. Este plano, contiene tanto a E, que es el vector de campo eléctrico, como a k, que es el vector de propagación en la dirección del movimiento.

Si dos ondas de luz son tales que las direcciones de sus campos eléctricos son perpendiculares entre sí, la onda resultante puede no ser linealmente polarizada, ver figura 1.

Si consideramos, este par de ondas de luz ortogonales, en la forma

$$E_x(z,t) = \hat{\imath}\, E_{0x}\, cos(kz - \omega t) \qquad (1)$$

$$E_y(z,t) = \hat{\jmath}\, E_{0y}\, cos(kz - \omega t + \varepsilon) \qquad (2)$$

Donde $\boldsymbol{\varepsilon}$ es la diferencia de fase relativa entre las ondas, ambas viajando en dirección z, y $(kz - \omega t)$ es la fase. Si $\varepsilon = 0$ o múltiplo entero de $\pm 2\pi$, las ondas están en fase, y la suma de estas será

$$E = \left(\hat{\imath}\, E_{0x} + \hat{\jmath} E_{0y}\right) cos(kz - \omega t) \qquad (3)$$

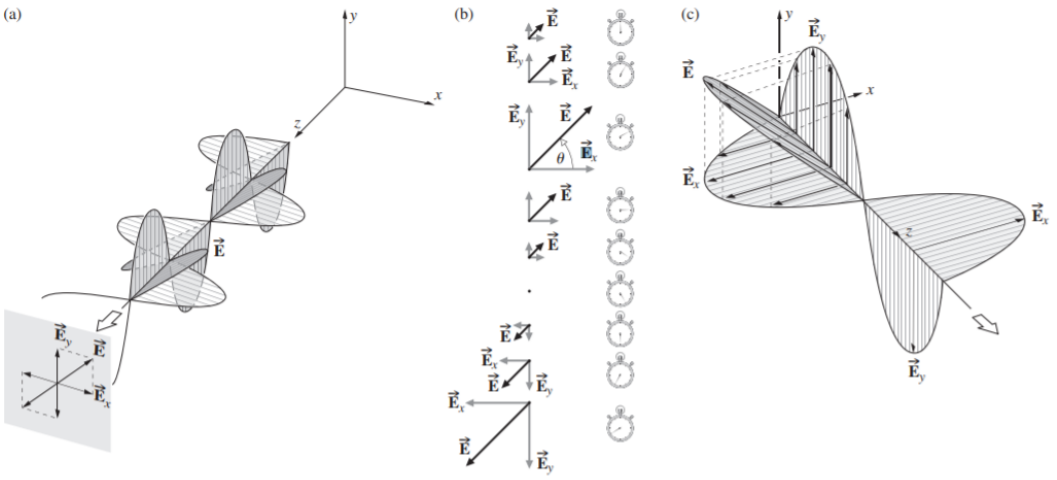


Figura 1. Luz lineal. (a) El campo E polarizado linealmente en el primer y tercer cuadrante. (b) El mismo campo oscilante visto de frente. (c) Luz polarizada linealmente en el segundo y tercer cuadrante.[5]

La onda resultante, E, tiene una amplitud $(\hat{\imath}\, E_{0x} + \hat{\jmath} E_{0y})$ que es constante, por lo tanto, está linealmente polarizada y oscila a lo largo de una línea inclinada, según una función coseno en el tiempo. El campo, E**,** progresa en un ciclo oscilatorio completo, y la onda avanza por el eje z a través de una longitud de onda. Este proceso funciona a la inversa, es decir, podemos resolver cualquier onda linealmente polarizada en dos componentes ortogonales [6].

Birrefringencia

Muchas substancias cristalinas, es decir, sustancias cuyos átomos están dispuestos según alguna clase de serie repetitiva regular, son ópticamente anisótropas. Sus propiedades ópticas no son las mismas en todas direcciones dentro de una muestra dada. En la figura 2 se representa el oscilador isótropo usando el modelo mecánico de una capa esférica cargada, atada a resortes idénticos en un punto fijo. Se trata de una representación adecuada para las substancias ópticamente isotrópicas. Los sólidos amorfos como el vidrio y el plástico son, por lo general, aunque no siempre, isótropos. La figura 3 muestra otra capa cargada, está vez por resortes de diferente rigidez, es decir con diferentes constantes de elasticidad. Un electrón que se desplaza del equilibrio a lo largo de una dirección paralela

a una serie de “resortes” evidentemente oscilará con una frecuencia característica distinta a la procedente de un desplazamiento hacia otra dirección.

Como es conocido, la luz se propaga a través de un medio transparente por excitación de los átomos dentro del medio. Los electrones son impulsados por el campo eléctrico E e irradian. Estas ondas secundarias se recombinan y la onda refractada resultante avanza. La velocidad y, por consiguiente, el índice de refracción, están determinados por la diferencia entre la frecuencia del campo E y la frecuencia natural o característica de los átomos. Una anisotropía en la fuerza de enlace se manifestará, por lo tanto, en una anisotropía en el índice de refracción. Por ejemplo, si la luz con un estado de polarización P, se moviera a través de algún cristal hipotético encontrándose con unos electrones que pudieran ser representados por la figura 3, su velocidad estaría gobernada por la orientación de E. Si éste fuera paralelo a los resortes rígidos o en una dirección de enlaces fuertes a lo largo del eje x, la frecuencia natural del electrón sería alta. Por el contrario, si E se propaga paralelo al eje y, donde la fuerza de enlace es más débil, la frecuencia natural sería más baja. Un material con índice de refracción dependiente del estado de polarización de la luz es birrefringente [7].

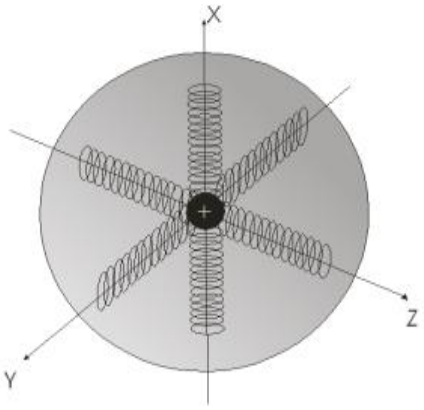


Figura 2: Modelo de oscilador mecánico para un medio isótropo. Todos los resortes son iguales y la oscilación puede vibrar igual en todas direcciones.[8]

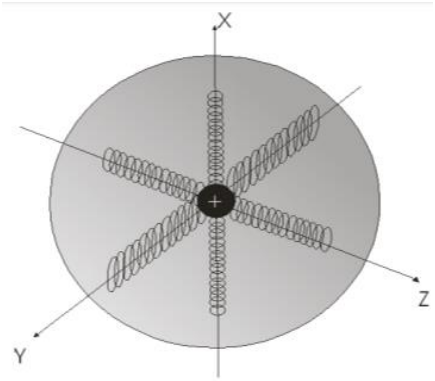


Figura 3: Modelo de oscilador mecánico para aun medio anisótropo. Los resortes no son iguales y la oscilación no vibrará igual en todas direcciones.[9]

Fotoelasticidad

En 1816 Sir David Brewster descubrió que se podía convertir las sustancias transparentes normalmente isótropas en ópticamente anisótropas aplicando un esfuerzo mecánico. A este

fenómeno se le conoce como *birrefringencia mecánica o fotoelasticidad*. Si el material se somete a tensión o compresión este adquiere propiedades uniaxiales, es decir, el eje óptico efectivo se halla en la dirección del esfuerzo y la birrefringencia inducida es proporcional a este esfuerzo.

La fotoelasticidad constituye la base de una técnica para estudiar los esfuerzos en estructuras mecánicas tanto transparentes como opacas. Un cristal inadecuadamente templado o montado sin cuidado, desarrollara esfuerzos internos que pueden detectarse fácilmente. Ya que la birrefringencia varia de un punto a otro en la superficie del modelo, cuando se coloca entre polarizadores cruzados, un patrón de franjas muy complejas y variadas revela los esfuerzos internos.

La retardancia en cualquier punto de la muestra es proporcional a la *diferencia de esfuerzos principales,* es decir $(\sigma_1 - \sigma_2)$ donde las sigmas son los esfuerzos ortogonales principales. Por ejemplo, si la muestra fuera una lámina bajo esfuerzo vertical, σ_1 sería el esfuerzo principal máxima en la dirección vertical y σ_2 sería el esfuerzo principal mínimo, en este caso cero, horizontalmente. En situaciones mas complejas, los esfuerzos principales, tanto como sus diferencias, variarán de una región a la siguiente. Bajo iluminación con luz blanca, los lugares geométricos de todos los puntos en la muestra, para los cuales $(\sigma_1 - \sigma_2)$ es constante, se denominan *regiones isocromáticas,* correspondiendo cada una de ellas a un color en particular, ver figura 4. Superpuesto en estas franjas coloreadas se hallará un sistema separado de bandas negras. En cualquier punto donde el campo E de la luz lineal al incidente es paralela a cualquiera de los ejes de esfuerzos principales, la onda atravesará la muestra sin ser afectada, independientemente de la longitud de onda. Con polarizadores cruzados, la luz se absorberá por el analizador, proporcionando una región negra conocida como *banda isoclínica.* Las franjas facilitan un mapa cualitativo de la distribución de esfuerzos, así como una base para cálculos cuantitativos [10].

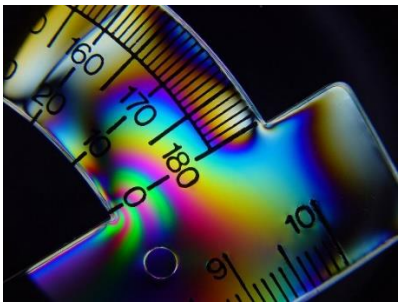


Figura 4: Pedazo de plástico transparente sometido a esfuerzos entre polarizadores.

Polariscopio

La parte experimental del método fotoelástico se lleva a cabo en un *banco fotoelástico* que consta de un instrumento para la producción y detección de luz polarizada llamado *polariscopio* y un equipo cargador para proporcionar las cargas al modelo.

Así pues, un polariscopio está formado por:

Lente colimadora: Está colocada de tal manera que la fuente luminosa esté exactamente en uno de sus focos, con el objeto de tener un haz de rayos paralelos.

Polarizador: Consiste generalmente en una lamina delgada de alcohol de polivinilo calentada y estirada antes de fijarla a una lámina soporte de acetato de celulosa, coloreándose la cara del polivinilo con un liquido que contenga yodo. Al llegar el rayo incidente al polarizador, se descompone en dos que vibran en planos perpendiculares, uno de los cuales absorbe. Por eso se dice que la luz emergente del polarizador vibra en un solo plano.

Analizador: Es análogo al polarizador, de tal forma que, si se colocan cruzados, es decir con sus planos de polarización ortogonales entre sí, un observador situado a la derecha del analizador no podrá ver luz alguna. Por el contrario, cuando el polarizador y el analizador se colocan paralelos, esto es, cuando los planos de polarización de ambos son coincidentes la luz se transmitirá a través de ellos.

Si colocamos el modelo cargado entre el polarizador y el analizador, la luz polarizada se descompone en sus componentes según las direcciones principales del estado tensional plano creado en este por la carga. Las dos vibraciones emergentes del modelo experimentarán un cierto desfase, por ser los índices de refracción distintos, según las direcciones principales. A través del analizador las vibraciones emergentes son las componentes de las dos ondas que salen del modelo, ver figura 5. Como estas dos ondas están polarizadas en un mismo plano, la función que hace el analizador es hacer cumplir a estas las condiciones necesarias de coherencia para que puedan producir interferencia óptica. [11]

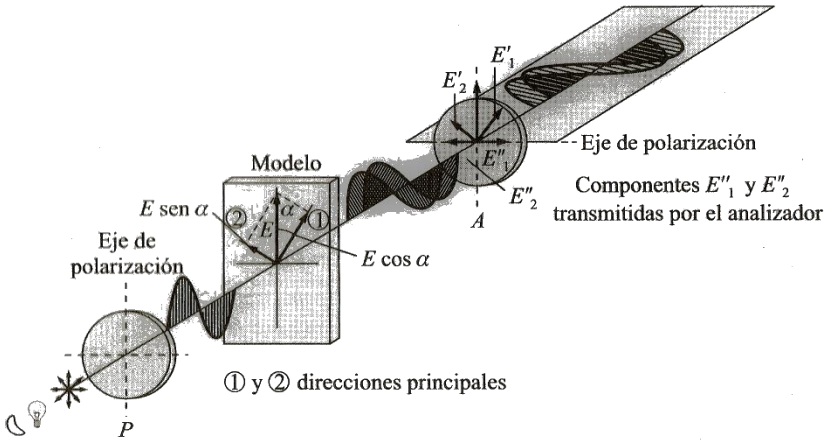


FIGURA 5: Proceso efectuado en un polariscopio. [12]

DESARROLLO DEL PROYECTO.

Se analizaron distintos tipos de polariscopios, tanto comerciales como industriales y didácticos. Se logró identificar los siguientes componentes en común:

1.- Fuente lumínica

2.- Lente polarizador.

3.- Elemento que analizar.

4.- Lente analizador.

5.- Bastidor.

6.- Sistema de aplicación de carga.

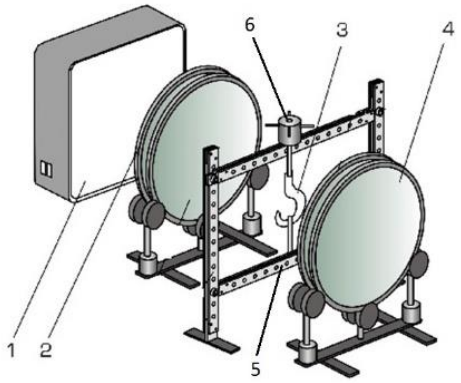


Figura 6: Partes de un polariscopio.[13]

Además de contener los elementos anteriores, nuestro polariscopio debía cumplir las siguientes condiciones:

Los elementos a analizar, en este caso las probetas de Lexan, debían estar sometidas a esfuerzos ya sea en tensión o compresión.

Los lentes, polarizador y analizador, deberían tener la posibilidad de ser alejados o acercados a la probeta.

El sistema completo debía ser ligero para facilitar su transporte.

Los lentes, deberían tener la posibilidad de ser girados sobre su eje horizontal.

Selección de material

Se buscó un material ligero y resistente, así que se seleccionaron 3 materiales que se encuentran comúnmente en el mercado: madera, aluminio y acero. Se hizo una comparación de resistencia y peso.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA CEDENCIA A TENSION	RESISTENCIA ULTIMA	DENSIDAD
	MPa	MPa	kg/m3
Madera de abeto blanco	--	2.5	3600
Aluminio 6061	255	290	2710
Acero estructural A36	250	400	7850

Tabla 1: Comparación de materiales. [14]

La madera presentó una resistencia considerablemente menor al aluminio y al acero, por lo que quedó descartada. En cuanto a la comparación entre el aluminio y al acero, este último presenta una resistencia 37% mayor, sin embargo, su densidad también es 289% mayor por lo que en su relación de resistencia-peso el aluminio es una mejor opción, además de que presenta una gran variedad de perfiles.

Para seleccionar el perfil se consultó el catálogo de OpenBuilds México, empresa dedicada a ofrecer productos para la construcción de actuadores y máquinas. En su catálogo presentan la guía lineal V-Slot 20x20mm que es un perfil de aluminio ranurado que permite un ensamble y acoplamiento de accesorios simple, presentando un costo de $92.00 MXN.

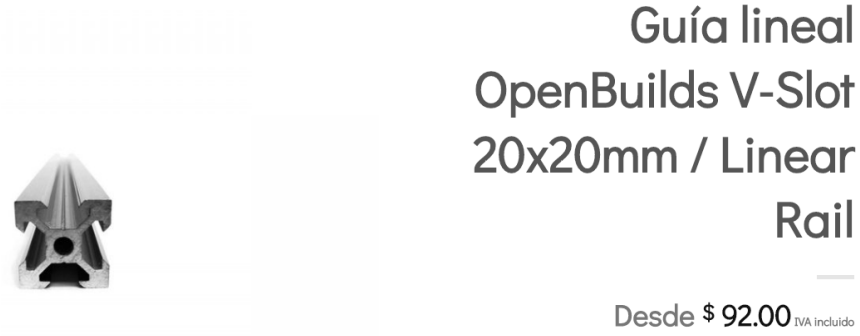


Figura 7: Guía lineal V-Slot 20x20 de OpenBuilds, costo por 25 cm.

De igual manera se cotizó una barra cuadrada de aluminio, teniendo un costo promedio de $105.00 MXN por kilogramo, si obtenemos el precio de una sección con dimensiones similares a la guía de OpenBuilds tenemos que:

Área cuadrada 2x2cm	0.0004	m
Longitud de la sección	0.2	m
Volumen por sección	0.00008	m^3/sección
Densidad del aluminio	2700	kg/m^3
Kilogramos por sección	0.216	kg/sección
Costo por kg	105	$/kg
Costo por sección	22.68	$/sección

Tabla 2: costo de una sección de barra cuadrada.

En teoría, una barra cuadrada de las mismas dimensiones cuesta un 24% del precio de la guía de OpenBuilds, así que para reducir costos se optó por esta.

Dado que los lentes deberían poder acercarse y alejarse de la probeta, es decir, tener desplazamiento en uno solo de los ejes y restringir en los otros dos, se consideró que una opción sencilla es maquinar un riel en forma de T, con un soporte, con la misma forma, para el lente.

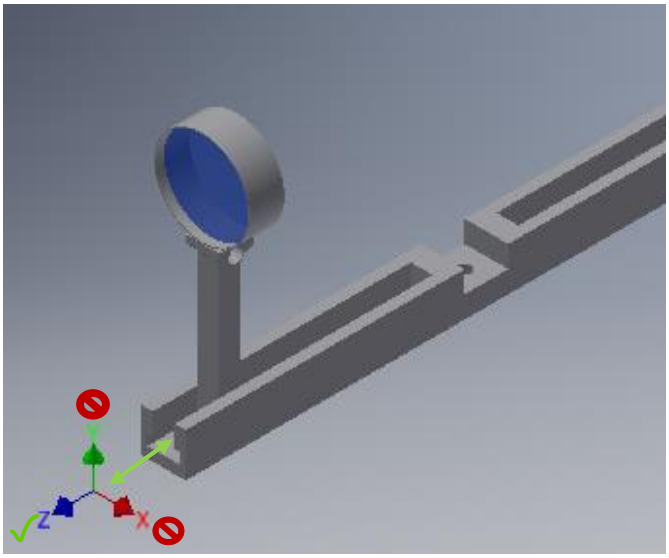


Figura 8: Restricción de los ejes, con un riel en T, vista ortogonal.

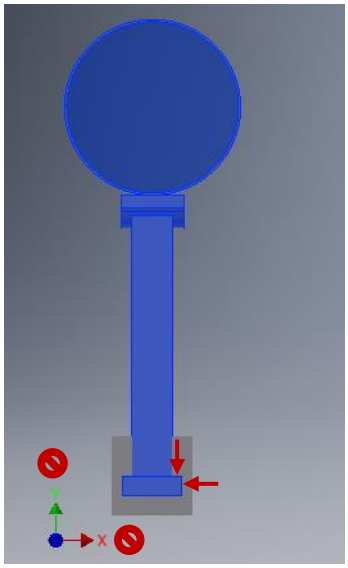


Figura 9: Restricción de los ejes con un riel en T, vista frontal.

Por lo mismo, para el tamaño de la barra cuadrada, se seleccionó de 1” ya que en el Taller de Procesos de Manufactura de la UAM-A, se cuenta mayormente con cortadores verticales de ½” y cortadores Woodruff de ¾” x ¼” .

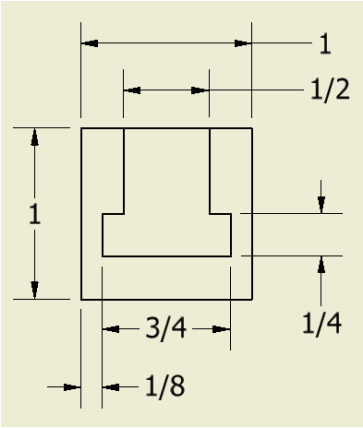


Figura 10: Dimensiones del riel T en pulgadas.

Las dimensiones del bastidor deben ser inferiores a 20x20 cm y la longitud del riel menor a 40 cm, ya que fueron las dimensiones propuestas en los objetivos, y se consideran adecuadas para el funcionamiento del polariscopio.

Propuesta 1

Contaba con un bastidor cuadrado, la carga se aplicaría a la probeta por medio de dos espárragos: uno inferior y fijo que la sostendrá por medio de una mordaza atornillada y uno superior y móvil, que comprimía la probeta por medio de una mordaza con juego, de manera que se mantenía en su posición y no giraba con el esparrago, ver figura 11.

Cada lente se sostenía con una abrazadera con tornillo sin fin, de acero galvanizado. Estas iban soldadas a una base que corría dentro de un riel en forma de T.

La fuente lumínica iba separada.

El polariscopio contaba con dos niveladores, que se podían ajustar, a los costados del riel.

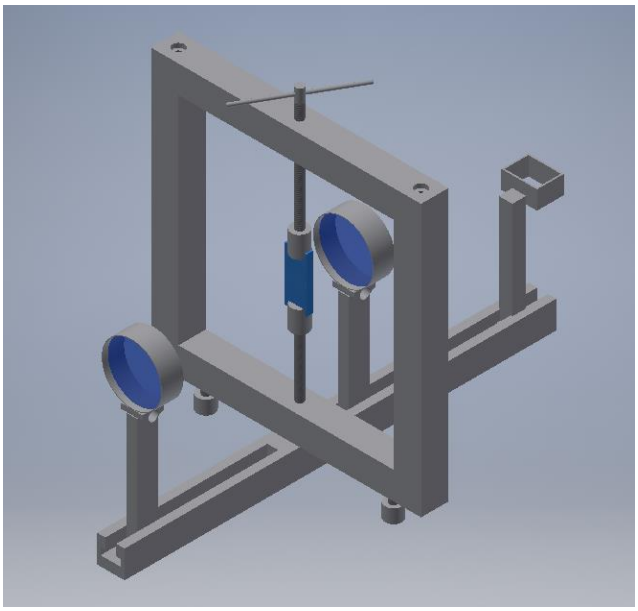


Figura 11: Propuesta 1.

Propuesta 2

En este modelo la carga aplicada sobre las probetas era a tensión. El bastidor contenía una serie de poleas y por medio de pesas se aplicaba la carga a tensión. Las mordazas fueron sustituidas por ganchos, que insertados en un barreno en la probeta transmitían la carga.

La fuente lumínica, la base para los lentes y los niveladores se mantenían.

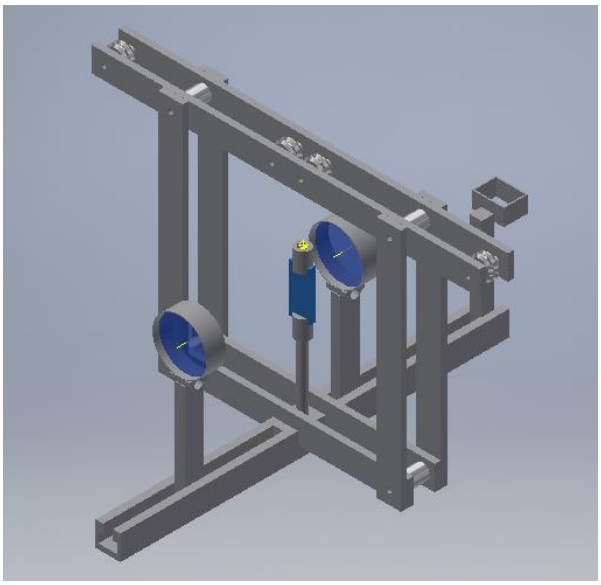


Figura 12: Propuesta 2.

Propuesta 3

Una combinación de los dos anteriores, la carga se mantiene a tensión. Los espárragos son los mismos que en la propuesta 1, se desechan las mordazas y se sustituyen por destorcedores sujetos a una ranura en los espárragos para permitir que giren libremente.

Se agrega una base similar a la de los lentes que sostiene la fuente lumínica.

Los niveladores se desechan y se hacen un par de ranuras en el riel y en la base del bastidor de manera que encajen y se mantengan al mismo nivel, ver figura 13.

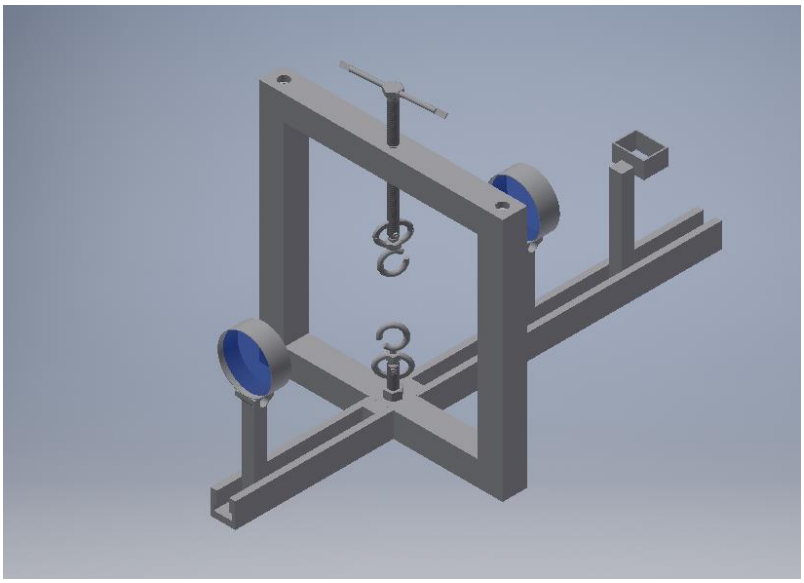


Figura 13: Propuesta 3.

Dado que la propuesta 3 presenta una mayor simplicidad de construcción al no tener que maquinar mordazas y una mayor utilidad, al mantener las probetas a tensión, se optó por esta.

Probetas

En el caso de las probetas se seleccionaron con los siguientes concentradores de esfuerzo, ya que son los más simples para maquinar y se analizan dentro de la bibliografía de la UEA Diseño de Elementos de Máquinas.

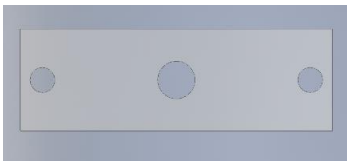


Figura 14: Probeta 1.

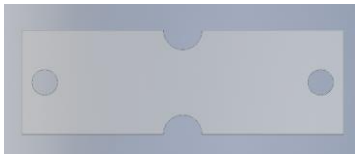


Figura 15: Probeta 2.

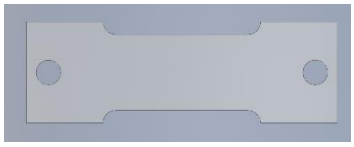


Figura 16: Probeta 3.

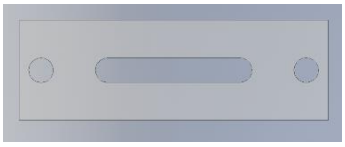


Figura 17: Probeta 4.

Construcción

Bastidor

Se construyó con barra cuadrada de aluminio de 1” para mantener homogeneidad con el tamaño del riel. Dado que la tensión será en dirección vertical, la parte superior e inferior, que reciben los esfuerzos, apoyan sobre los costados del bastidor para que estos soporten la carga en su eje axial.

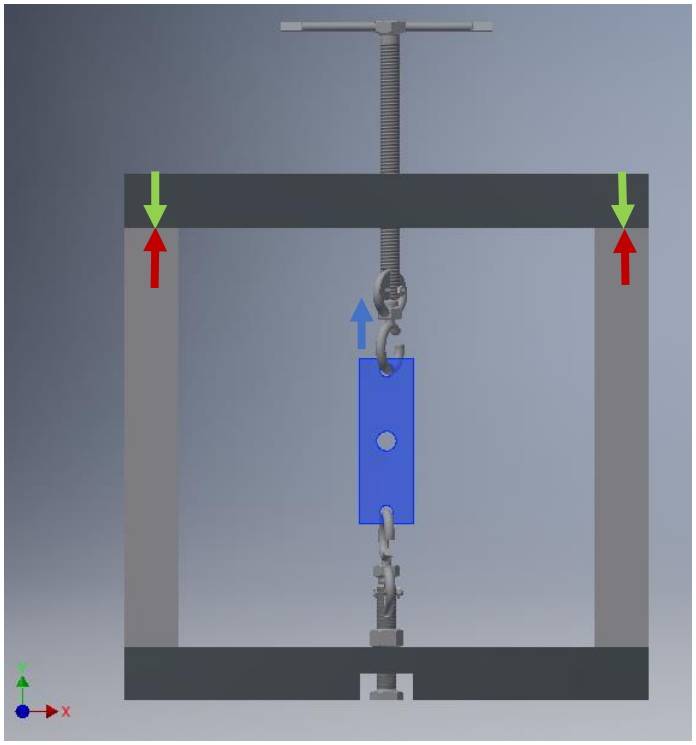


Figura 18: Al sufrir la probeta una carga a tensión en dirección +Y (azul), la parte superior del bastidor sufre una carga en dirección contraria, -Y (verde), la que será soportada por el eje axial de los costados del bastidor (rojo).

El bastidor fue fijado con tornillos Allen M6x5. Para facilitar el maquinado la cabeza y parte de cada tornillo se ocultan dentro de una caja en la parte superior e inferior del bastidor mientras que los costados llevan la cuerda. Los costados deben llevar un careado muy preciso, para que al colocar las partes superior e inferior mantenga la forma. La parte inferior lleva una muesca de 1” de grosor y ½” de profundidad en la parte central, esta coincidirá con otro, de iguales dimensiones, en el riel, lo que permitirá que ambos queden al mismo nivel y den estabilidad al dispositivo.

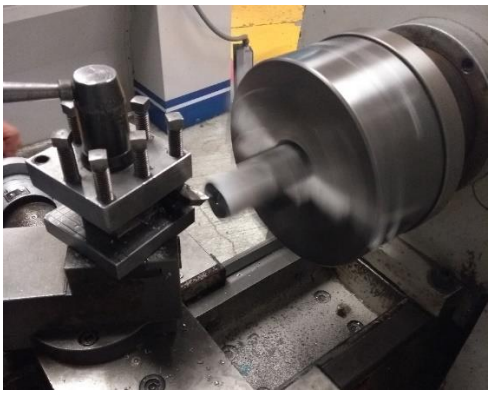


Figura 19: Careado de las barras laterales del bastidor.

Figura 20: Muesca en la barra inferior del bastidor.

Figura 21: Caja de los tornillos de la barra superior del bastidor.

Figura 22: Barrenado para los tornillos en la barra lateral del bastidor.

Riel

Construido en barra cuadrada de aluminio de 1”. Tiene un par de ranuras en forma de T, por donde corren los soportes de los lentes y el foco. Lleva una ranura de 1” de ancho y ½” de profundidad que coincide con la del bastidor.

Figura 23: Maquinado de la ranura en T del riel.

Figura 24: Maquinado de la ranura en el riel para el bastidor.

Tornillo superior

El tornillo superior es hexagonal 3/8”x5”. corre por una camisa fabricada con una tuerca de acero que va incrustada, con ajuste, en la parte superior del bastidor. En la parte superior lleva un orificio pasado por el que se inserta el maneral, este mas aplanado en sus extremos para evitar que salga. El tornillo, en la parte inferior, lleva una ranura donde se inserta el destorcedor. El destorcedor permite que el tornillo gire y tense la probeta, mientras esta se mantiene en posición, el destorcedor este va sostenido por un pequeño tornillo que atraviesa la ranura. El destorcedor lleva un proceso de esmerilado en su parte superior para permitir que entre en la ranura, en su parte inferior lleva un corte para permitir que entre la probeta.

Figura 25: Tornillo superior con maneral.

Figura 26: Destorcedor.

Tornillo inferior

El tornillo inferior es hexagonal de 3/8”x2”. Atraviesa un par de barrenos en el riel y en la parte inferior de bastidor, lleva una tuerca que los mantiene unidos. La parte superior de la cabeza fue desbastada para permitir que entre en una caja en el riel.

Figura 27: Tornillo inferior.

Soporte del lente

El soporte esta construido con barra de acero de ½”, tiene una base de solera de acero de ¼” de ancho. Esta base lleva un barreno pasado de ½” de diámetro el cual sirve para contener el material de aporte de la soldadura y fijarla con el soporte. En la parte superior tiene una curvatura para que coincida con una abrazadera de tornillo sin fin, comercial, de 2”.

Figura 28: Curvatura del soporte del lente.

Figura 29: Parte inferior del soporte del lente.

Soporte del foco

Es Igual que el soporte de los lentes, con la diferencia que en la parte superior tiene soldada una base hecha de lámina que soporta el foco.

Figura 30: Soporte del foco.

RESULTADOS.

Para el análisis de las probetas primero se colocaron en el polariscopio y se observaron sin aplicar ninguna carga, posteriormente se aplicó la carga a tensión y se observó nuevamente, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Figura 31: Probeta 1, en el polariscopio, sin carga.

Figura 32: Probeta 1, en el polariscopio, con carga.

Figura 33: Probeta 2, en el polariscopio, sin carga.

Figura 34: Probeta 2, en el polariscopio, con carga.

Figura 35: Probeta 3, en el polariscopio, sin carga.

Figura 36: Probeta 3, en el polariscopio, con carga.

Figura 37: Probeta 4, en el polariscopio, sin carga.

Figura 38: Probeta 4, en el polariscopio, con carga.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En la probeta 1, podemos observar una ligera variedad de colores, principalmente morado y azul, aun sin aplicar carga, esto se debe a que al momento de maquinar la probeta se crearon esfuerzos residuales. Al aplicar la carga se ve claramente que más campos se forman alrededor, teniendo contornos mejor definidos, que van del azul cielo, azul rey, cerca del barreno hasta el violeta y naranja en la parte más exterior y se pierden en un tono gris, lo que indica claramente que los esfuerzos se concentran alrededor del barreno.

En la probeta 2, nuevamente se observan esfuerzos residuales, predominando el color violeta con pequeños rastros de azul cielo en la parte central de las muescas. Se aprecia claramente que, al momento de aplicar la carga, los esfuerzos se concentran alrededor de estas, mostrando un patrón de franjas de colores que va del azul cielo en la zona cercana a la muesca y pasan a violeta y naranja conforme se alejan. Podemos observar que en la parte inferior central muestra un campo color morado, mientras que en la parte superior es azul, esto puede deberse a que la tensión se esta aplicando desde arriba lo que puede causar mayores esfuerzos en esta zona.

La probeta 3, presenta un mejor maquinado, ya que, al exponerla a la luz, sin carga, muestra un color amarillo uniforme. Al momento de aplicar la carga, cambia a un color azul cielo en la orilla, con pequeñas manchas violetas hacia el centro, donde el esfuerzo se concentra menos. En la parte superior se ve un campo de color verde, cercano a los radios superiores, esto puede ser debido a la combinación del concentrador con la carga aplicada en la parte superior.

Por último, la probeta 4, muestra un ligero color negro, con pequeñas manchas de colores en la parte superior al mantenerla sin carga, lo que indica un maquinado correcto con esfuerzos residuales mínimos. Al aplicar la carga, observamos patrones de franjas que van a lo largo de la ranura y pequeños campos en la parte superior, que van del azul cielo en la parte más cercana de esta, pasando por el violeta y el amarillo conforme se aleja.

Con lo anterior podemos estableces una tabla cualitativa de los colores observados:

NIVEL DE ESFUERZO	COLOR
1	gris
2	Amarillo
3	Naranja
4	Violeta
5	Azul índigo
6	Azul cielo

Tabla 3: comparación cualitativa de las franjas de colores contra los niveles de esfuerzo, orden ascendente.

La tabla anterior la comparamos con los resultados obtenidos en los siguientes trabajos:

COLOR	RETRASO [nm]	ORDEN DE LA FRANJA
Negro	0	0
Gris	160	0,28
Blanco	260	0,45
Amarillo	350	0,60
Naranja	460	0,79
Rojo	520	0,90
Azul	620	1,06
Azul-Verde	700	1,20
Verde-Amarillo	800	1,38

Tabla 4: Secuencia de colores producidos con luz blanca. Orden de franja [15].

FUERZA [N]	FRANJA ISOCROMATICA	ODEN DE LA FRANJA N
3400	Blanco	0,45
6800	Amarillo	0,60
9800	Naranja	0,79
13200	Azul	1,06
16700	Azul-Verde	1,20
20100	Verde-Amarillo	1,38
23100	Naranja	1,62
26500	Purpura	2,00

Tabla 5: Fuerzas aplicadas a la probeta de plexiglás sin concentrador de esfuerzo tomada de tesis Colombia [16].

Aquí podemos observar que los esfuerzos menores coinciden con los colores amarillo y naranja, mientras se aumenta llega a los tonos azules, la única variación es con el color violeta, que en la primera tabla no se menciona (aunque podríamos ubicarlo cerca del rojo y azul) en la segunda se menciona en la zona de esfuerzos más elevados.

CONCLUSIONES.

En cuanto a los objetivos de diseño y construcción del polariscopio, se logró un obtener dispositivo que cumple con las funciones requeridas, dentro de los parámetros establecidos, tanto de dimensión como de uso y transporte.

Se logró observar las bandas de colores que corresponden a los campos de esfuerzo y estas se encuentran cerca de los concentradores de esfuerzo de las probetas como se esperaba. Estos colores van desde el negro y amarillo en probetas sin carga, bien maquinadas, hasta el morado y azul, con algunas zonas mínimas de verde, que, si lo comparamos con los estudios de franjas realizados, corresponden con los colores que se observan conforme se aumentan los esfuerzos.

Este polariscopio cumple con su función de carácter didáctico y cualitativo y se espera que en próximos trimestres se puede usar en la UEA de Diseño de Elementos de Máquinas.

Aunque cumple con lo establecido, puede tener mejoras posteriores, como adaptar lentes más grandes, para probetas con formas más específicas, y un estudio que relacione las bandas de colores con el esfuerzo aplicado, así como implementar una forma de medir la carga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Briñez de León, J., Restrepo Martínez, A. y López Giraldo, F., 2013, “Estudios de fotoelasticidad: desarrollos y aplicaciones”, Revista Politécnica, **9** (16), pp. 27-36.

[2] Hernández Millán, F., 2015, “Diseño y construcción de un prototipo para análisis por fotoelasticidad en modelos transparentes”, Proyecto Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

[3] Sosa Godínez, M., 2012, “Manual de operación y el mantenimiento de un polariscopio y sus prácticas para el curso de diseño de máquinas 1, basados en el fenómeno fotoelástico”, Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala.

[4] Montes de Oca, N. y Machado, E., 2011, “Estrategias docentes y métodos de enseñanza-aprendizaje en la Educación Superior”, Humanidades Medicas, **11** (3), nd.

[5] [6] [10] Hecht, E., 2000, *Óptica*, 3ª Ed., Pearson Educación, Madrid, España, Cap. 8.

[7] [8] [9] Castillo Aranda J., 2008, “Multiplexado de sensores basados en la interferometria de baja coherencia”, Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

[11] [12] Ortiz Berrocal L., 1998, *Elasticidad*, 3ª Ed., McGraw-Hill, Madrid, España, Cap. 12.

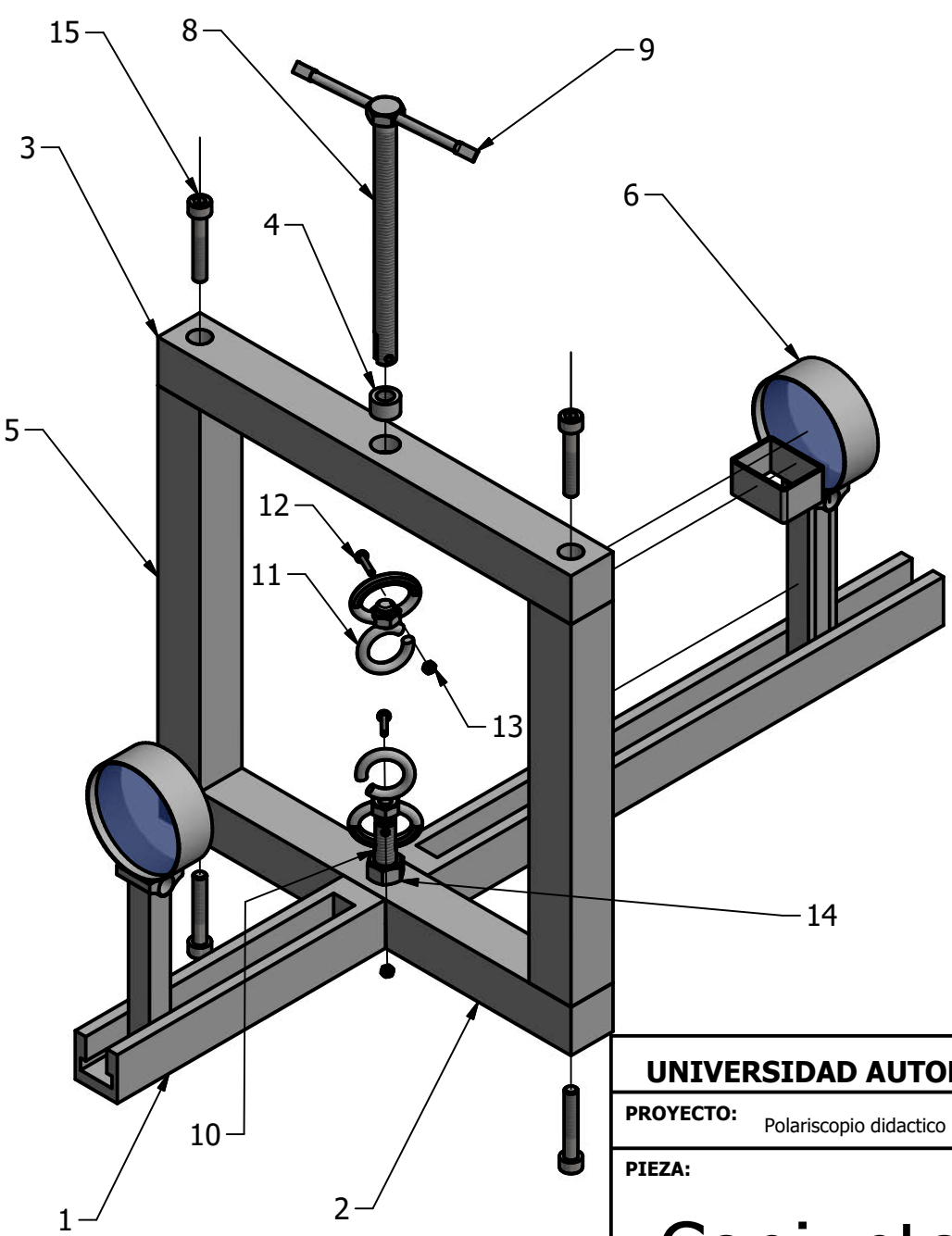
[13] Gunt Hamburg, n.d., “FL 200 Ensayos fotoelásticos de tensiones con polariscopio de transmisión“, de https://www.gunt.de/es/productos/ensayos-fotoelasticos-de-tensiones-con-polariscopio-de-transmision/021.20000/fl200/glct-1:pa-150:pr-343

[14] Hibbeler Russell G., 2011, *Mecánica de materiales*, 8ª ed., Pearson Educación, Naucalpan, México.

[15] Rodríguez Valdés, J., 2006, "Determinación de los esfuerzos en dientes de una rueda tipo catarina por los métodos de fotoelástico y del elemento finito", tesis de maestro en ciencias con especialidad en ingeniería mecánica, Escuela Superior de Ingeniaría Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional.

[16] Soto Lesmes, H., 2013, “Estudio de la distribución de esfuerzos sobre un polímero sometido a compresión, utilizando la técnica de fotoelasticidad”, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.

ENTREGABLES.



LISTA DE PARTES		
No. PARTE	NOMBRE	CANTIDAD
1	Riel	1
2	Barra inferior del marco	1
3	Barra superior del marco	1
4	Camisa del tornillo superior	1
5	Barra lateral del marco	2
6	Soporte de lente	2
7	Soporte del foco	1
8	Tornillo superior	1
9	Maneral del tornillo superior	1
10	Tornillo Inferior	1
11	Destorcedor	2
12	Tornillo 1/8-48 UNC x 1/2 redondo	2
13	Tuerca 1/8-48 UNC	2
14	Tuerca 3/8-16 UNC	1
15	Tornillo Allen M6-35	4

UNIVERSIDAD AUTONÓMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO

PROYECTO: Polariscopio didactico

DIBUJÓ: Abraham Chavelas González

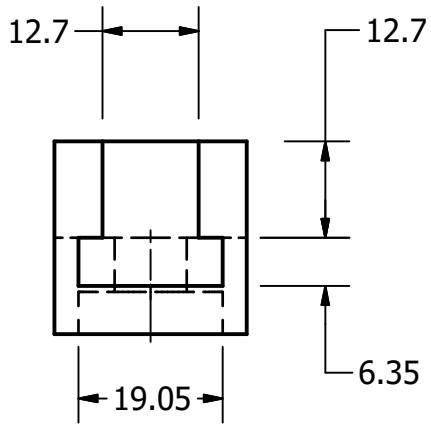
PIEZA: Conjunto

ESCALA: 1:3

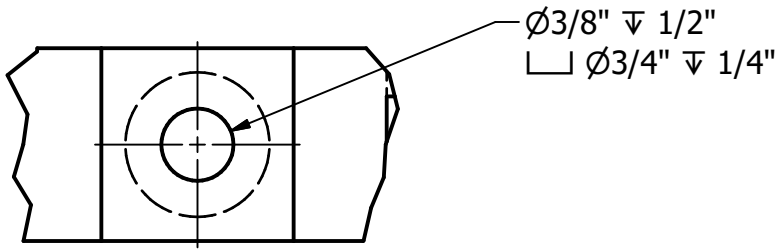
REVISÓ: Dr. José Luis Ramírez Cruz

APROBÓ: Ing. Romy Pérez Moreno

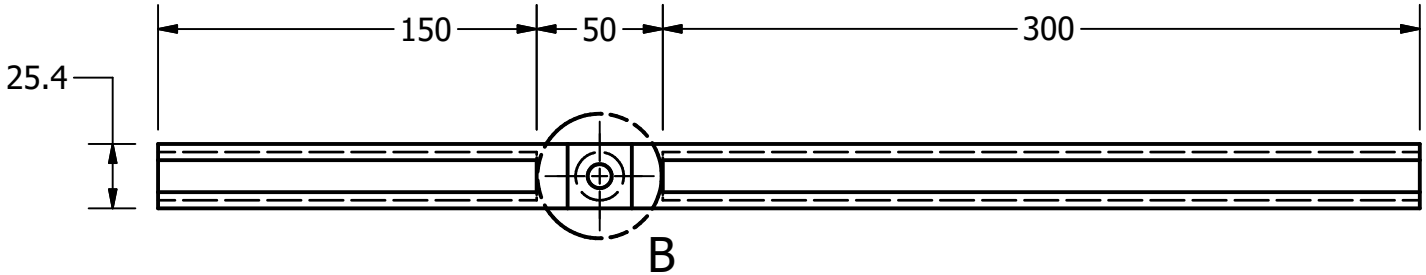
No. DE DIBUJO: 1/16

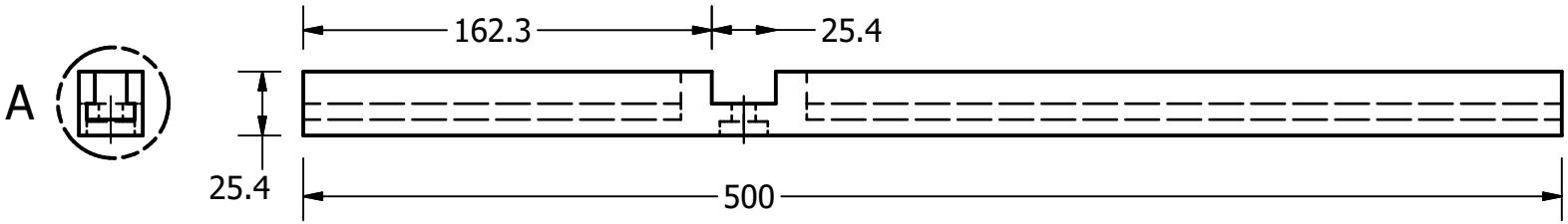


DETALLE A
ESCALA 1 : 1



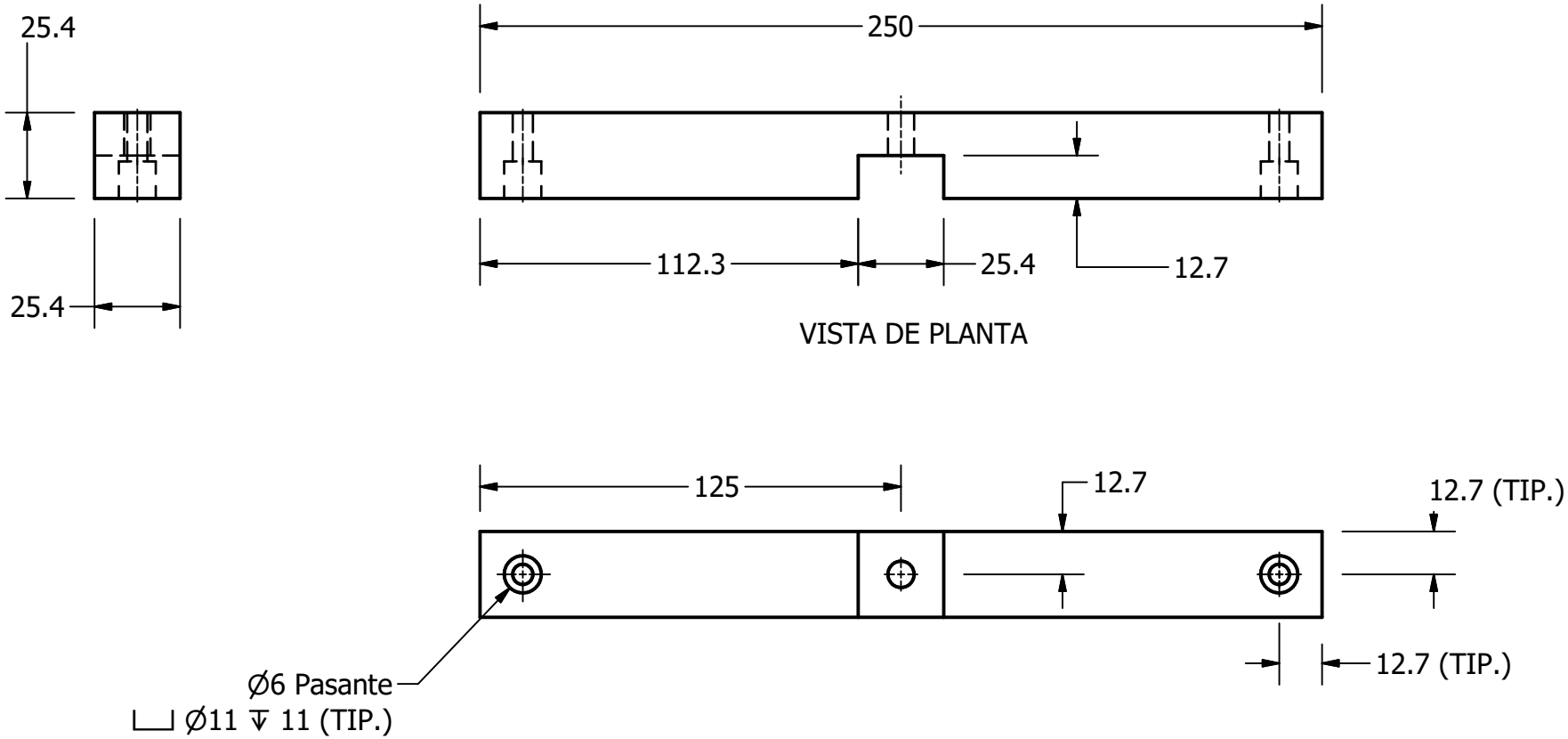
DETALLE B
ESCALA 1/1



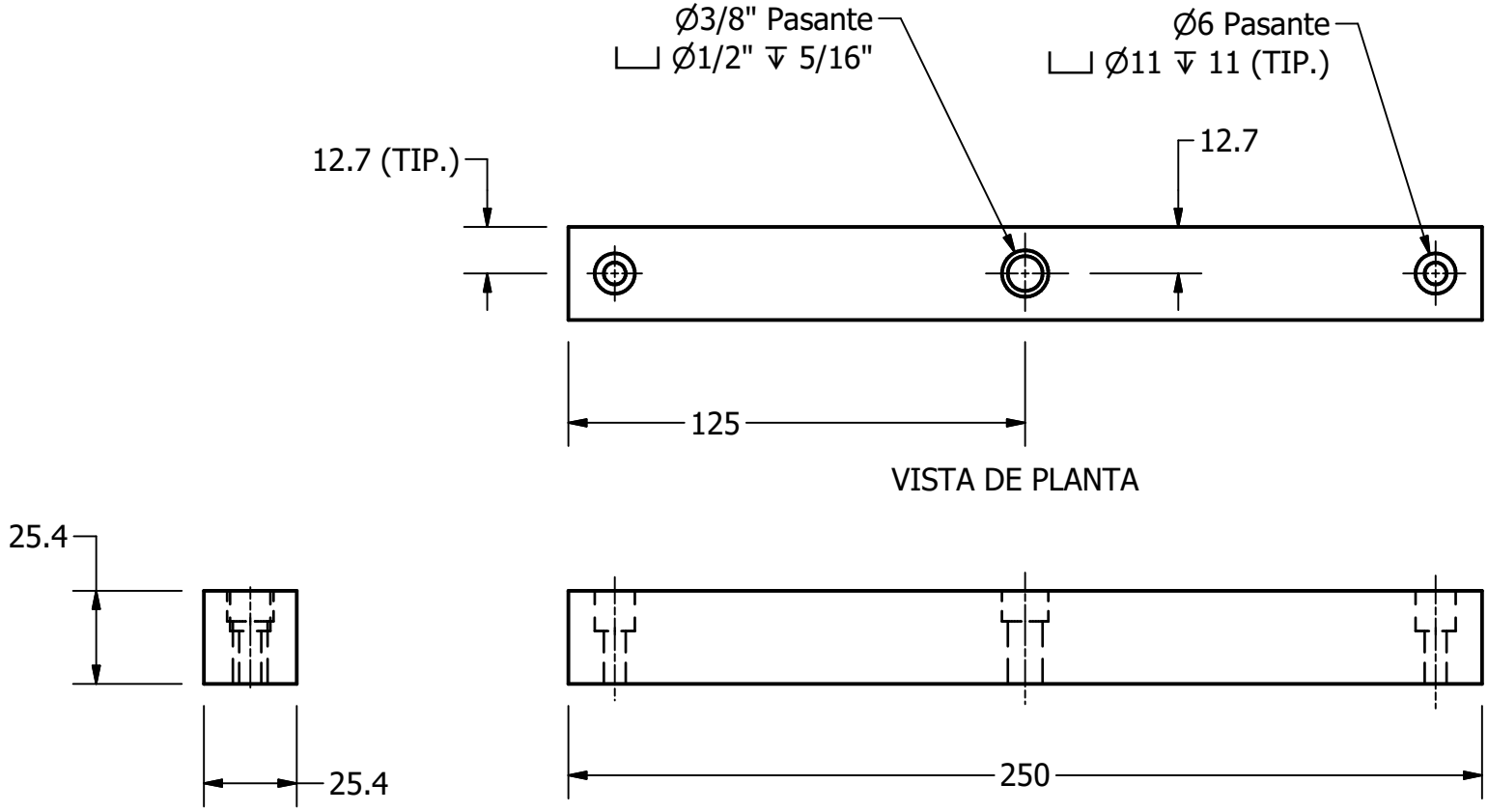


VISTA DE PLANTA

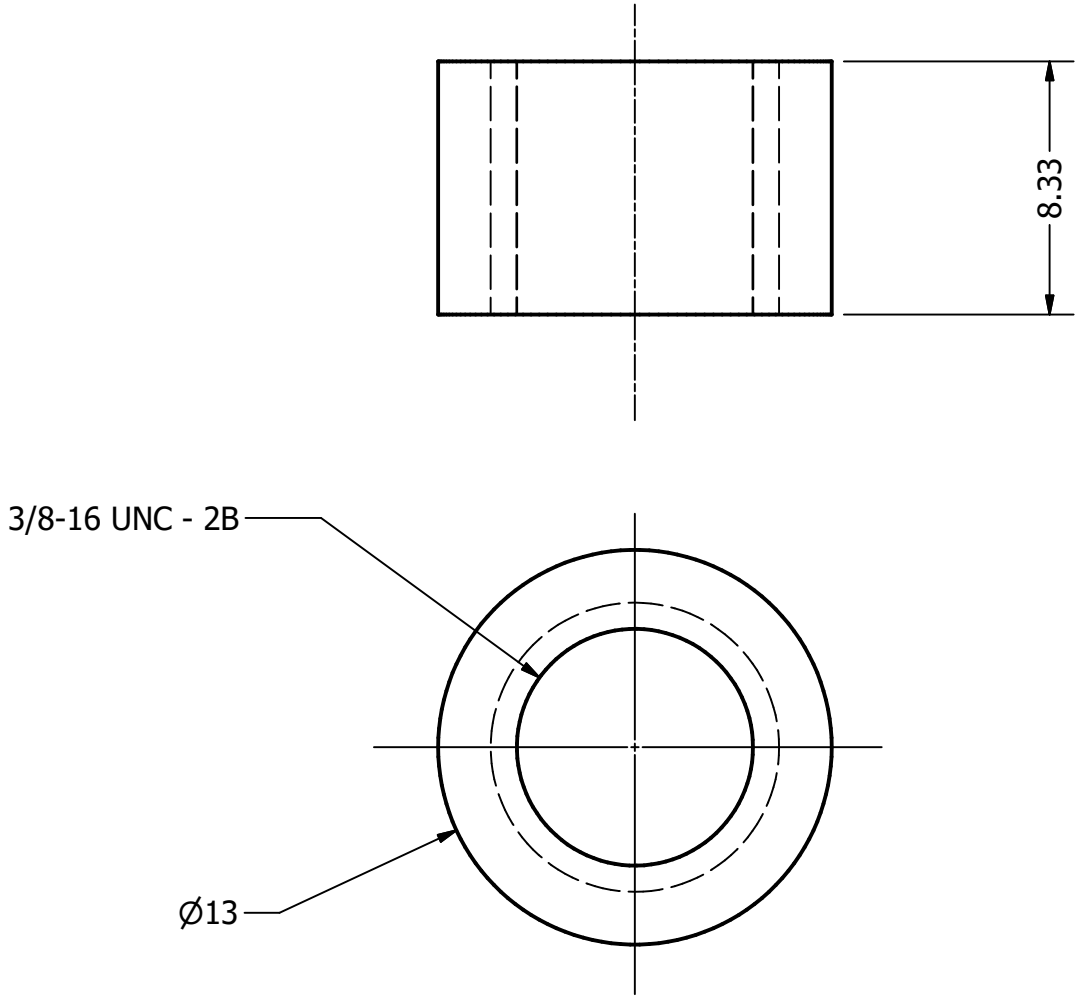
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Aluminio	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
	ESCALA: 1:3	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
PIEZA: Riel		**No. DE PIEZAS:** 1
		No. DE DIBUJO: 2/16



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Aluminio	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Barra inferior del marco**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 3/16

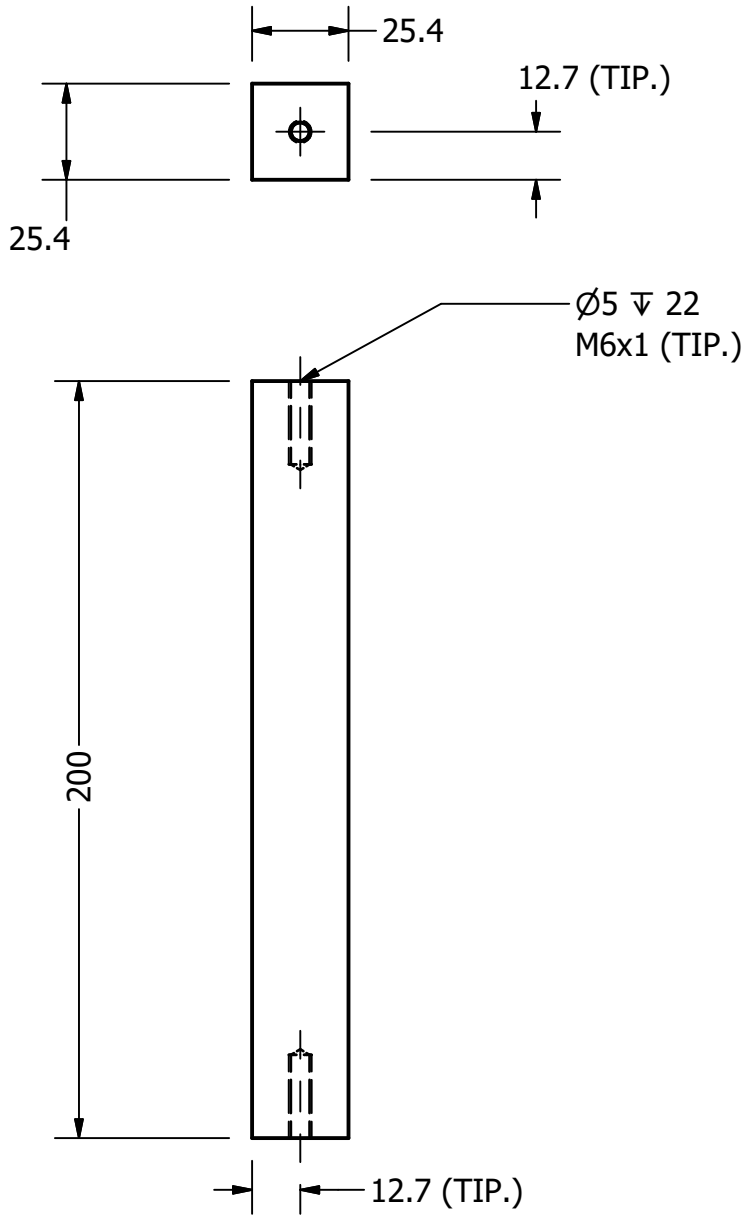


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Aluminio	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Barra superior del marco**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 4/16



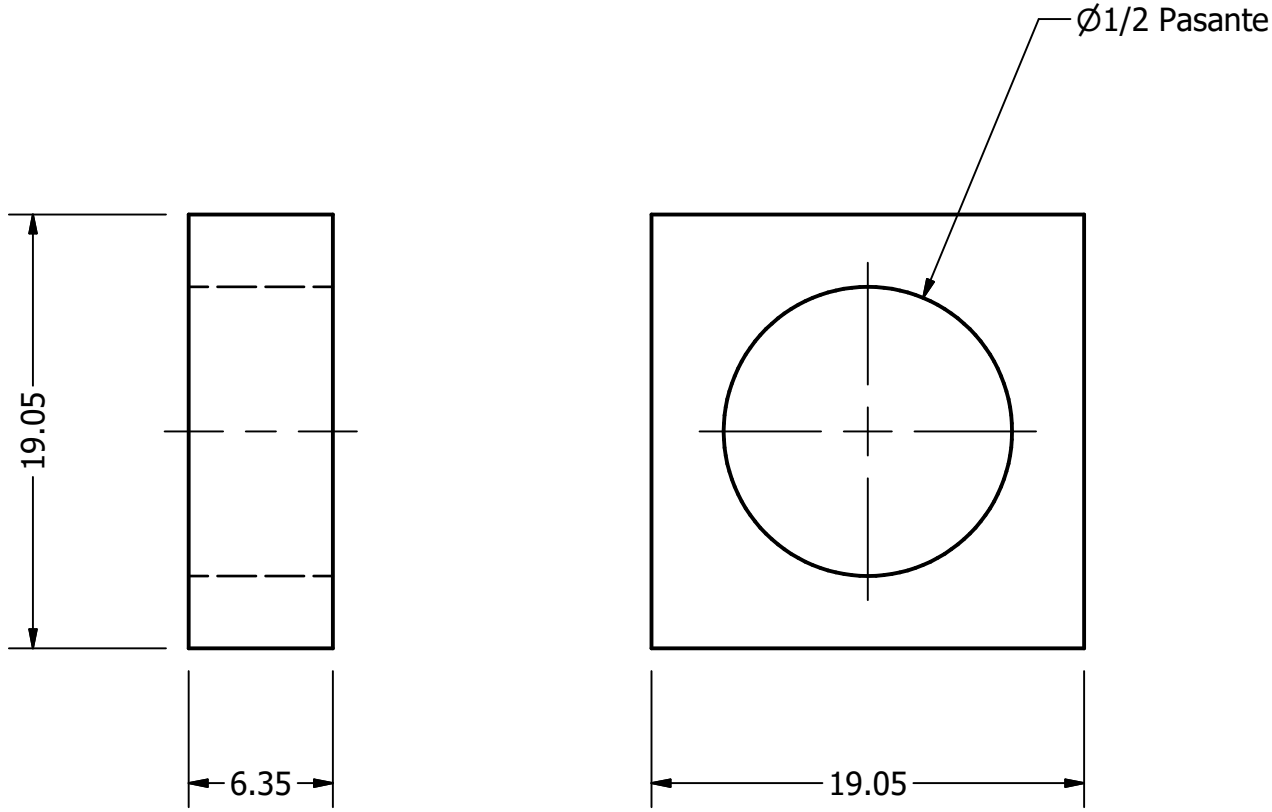
VISTA DE PLANTA

UNIVERSIDAD AUTONÓMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Camisa de Tornillo superior**	**ESCALA:** 4:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 5/16

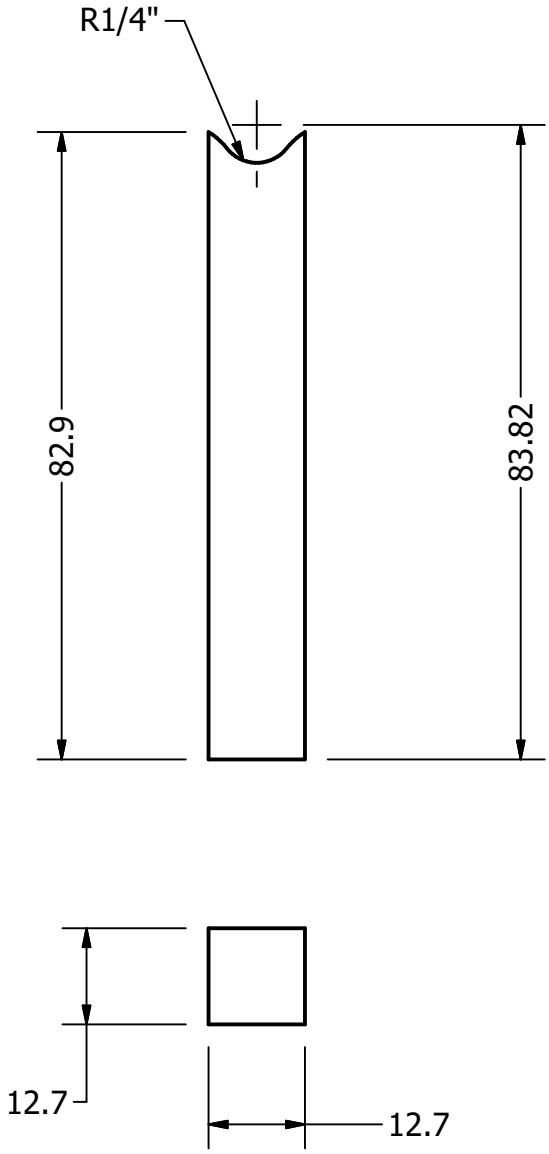


VISTA DE PLANTA

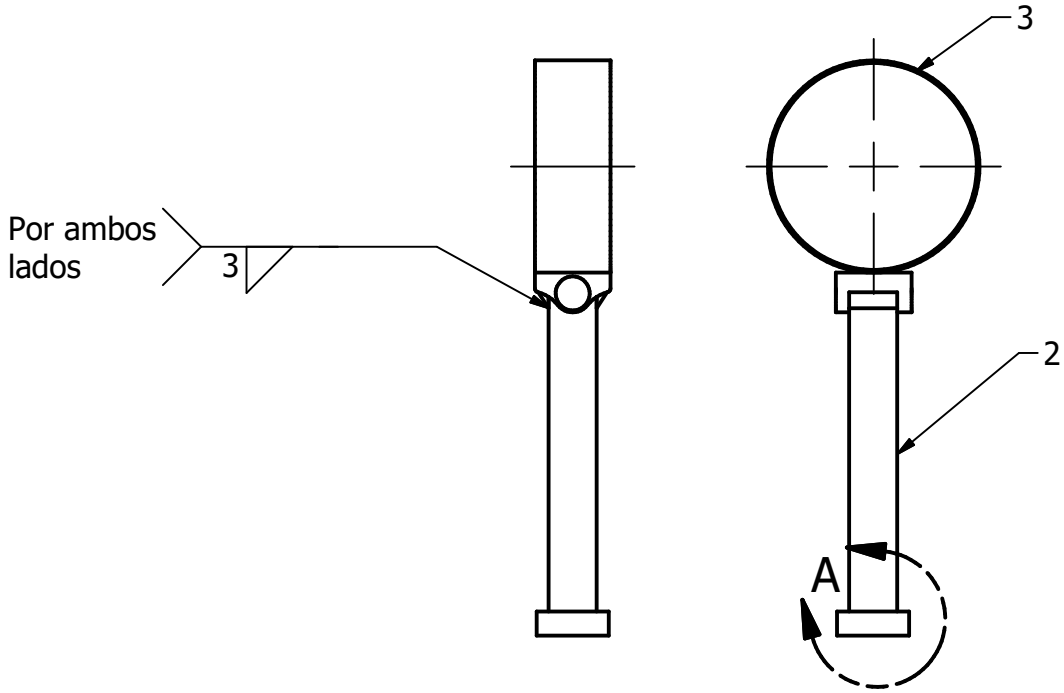
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Aluminio	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Barra lateral del marco**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 2
		No. DE DIBUJO: 6/16



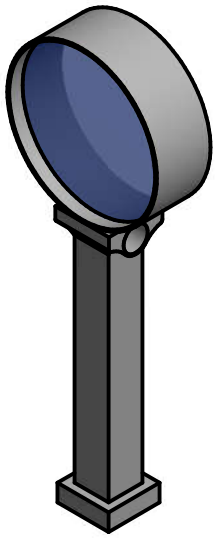
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO			
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González	
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz	
PIEZA: **Base del soporte**	**ESCALA:** 3:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno	
		No. DE PIEZAS: 3	
		No. DE DIBUJO: 7/16	

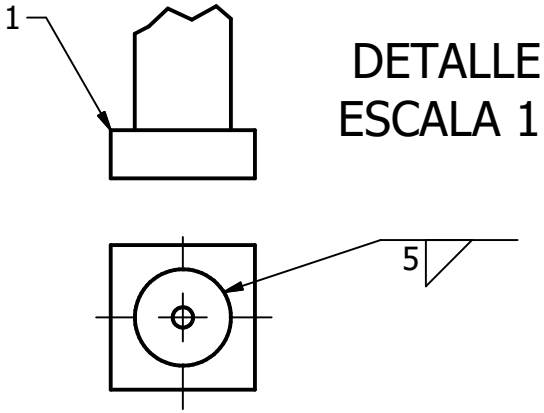


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Barra del soporte del lente**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 2
		No. DE DIBUJO: 8/16



VISTA DE PLANTA



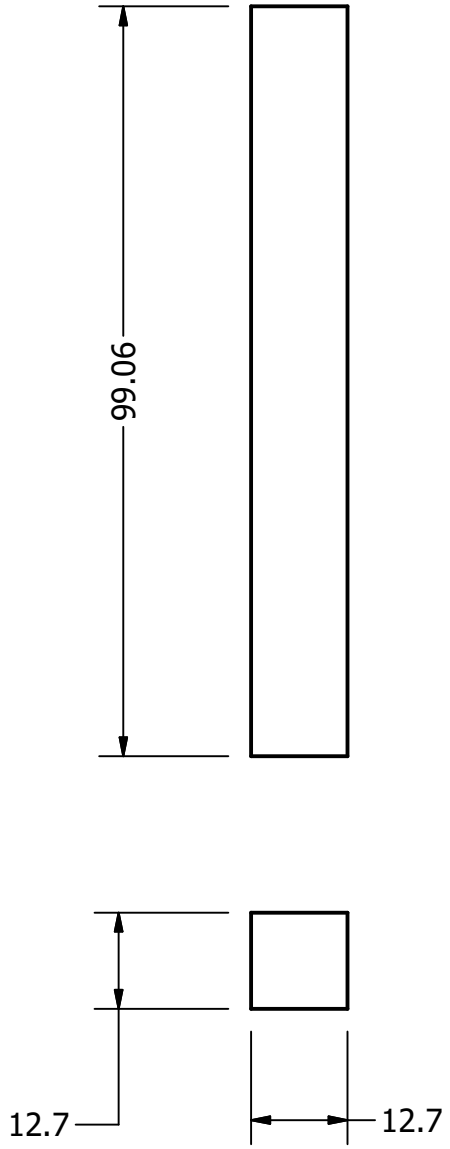


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

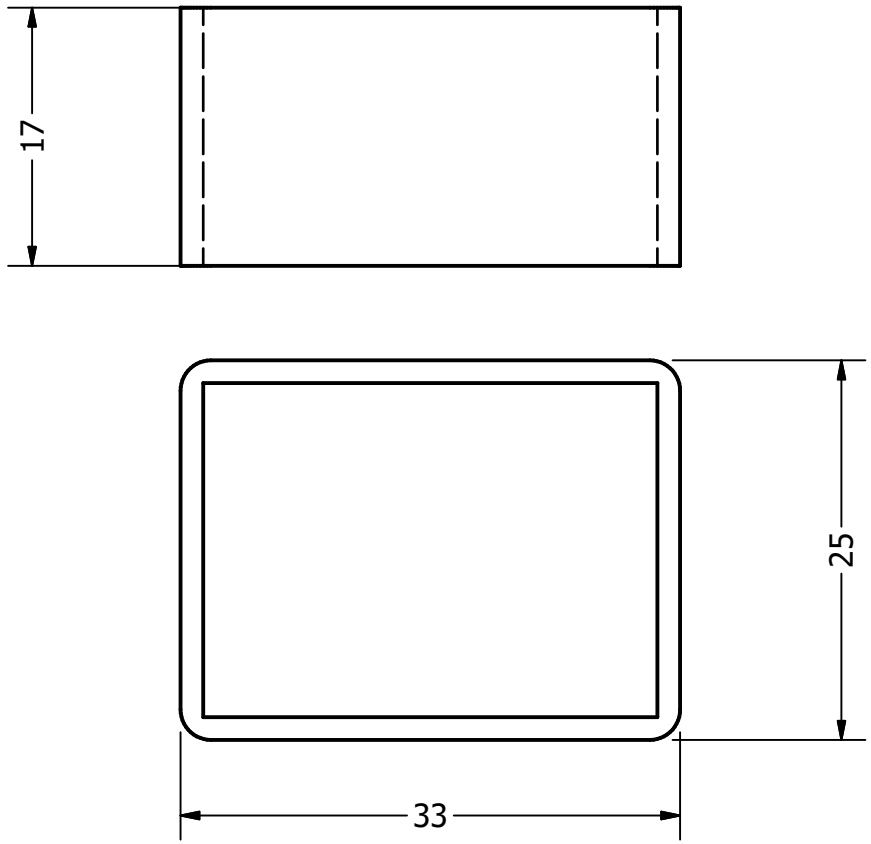
LISTA DE PARTES		
No. DE PARTE	NOMBRE	CANTIDAD
1	Base del soporte	1
2	Barra del soporte del lente	1
3	Abrazadera de 2" de tornillo sin fin	1

UNIVERSIDAD AUTONÓMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO

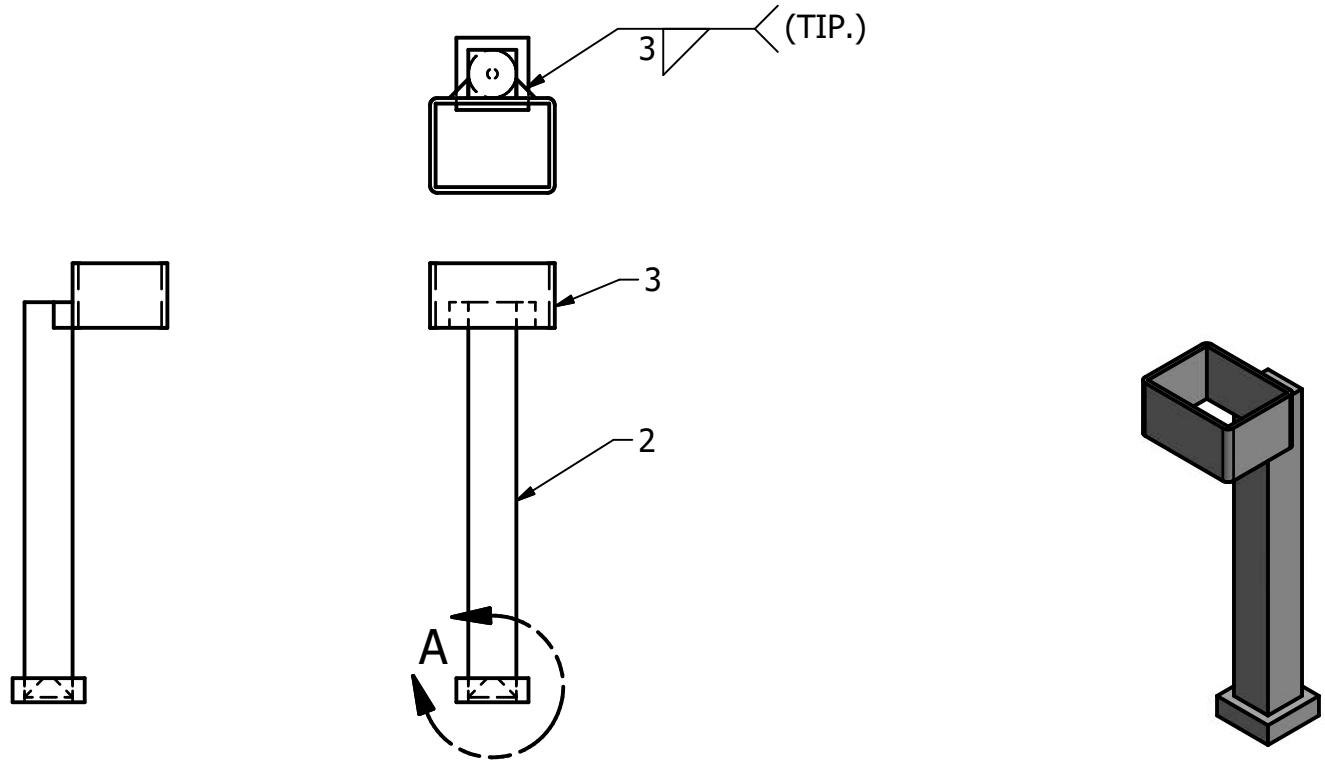
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Soporte del lente**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 2
		No. DE DIBUJO: 9/16



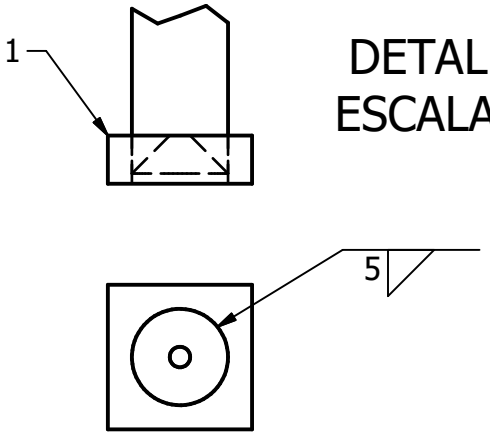
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Barra del soporte del foco**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 10/16



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Lamina de acero calibre 16	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Porta foco**	**ESCALA:** 2:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 2
		No. DE DIBUJO: 11/16



VISTA DE PLANTA

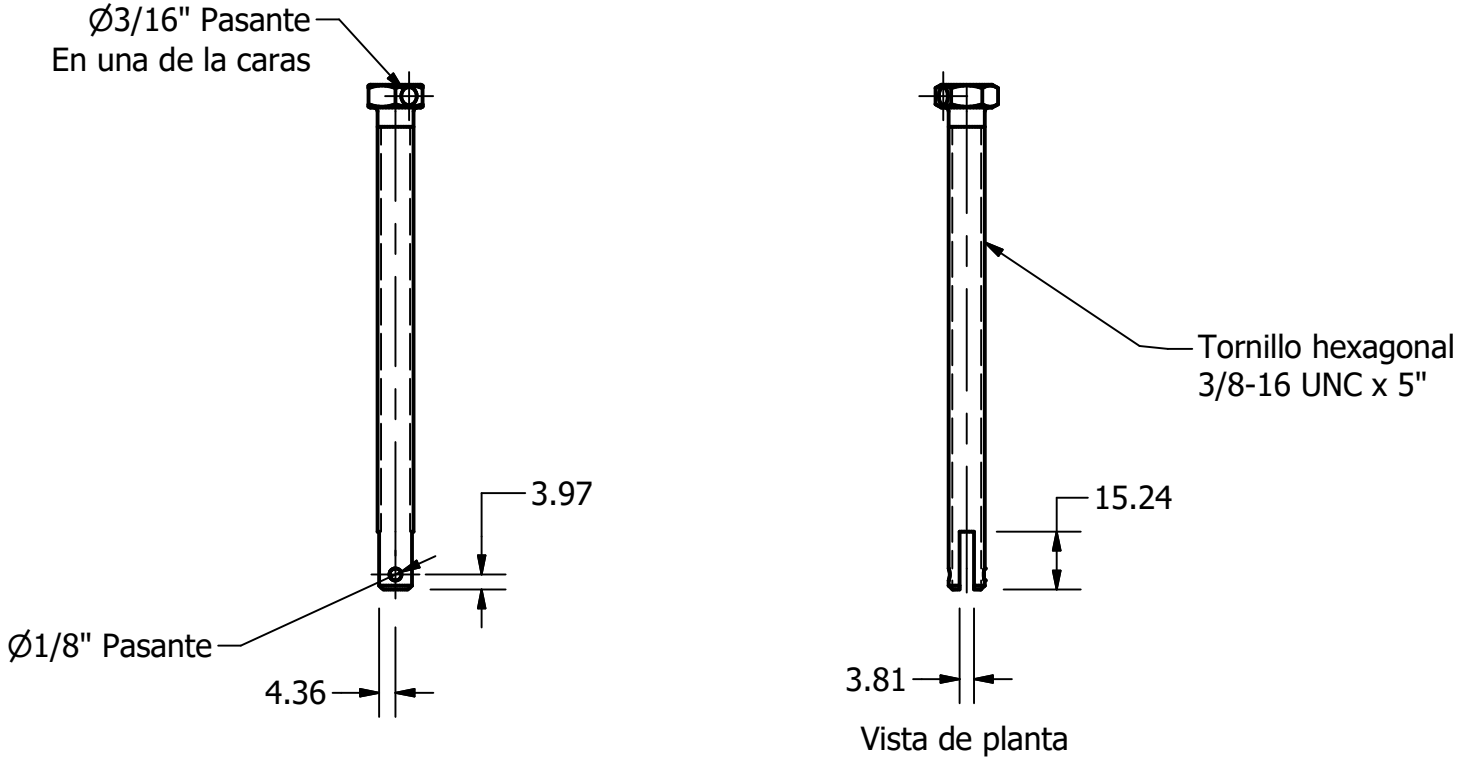


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

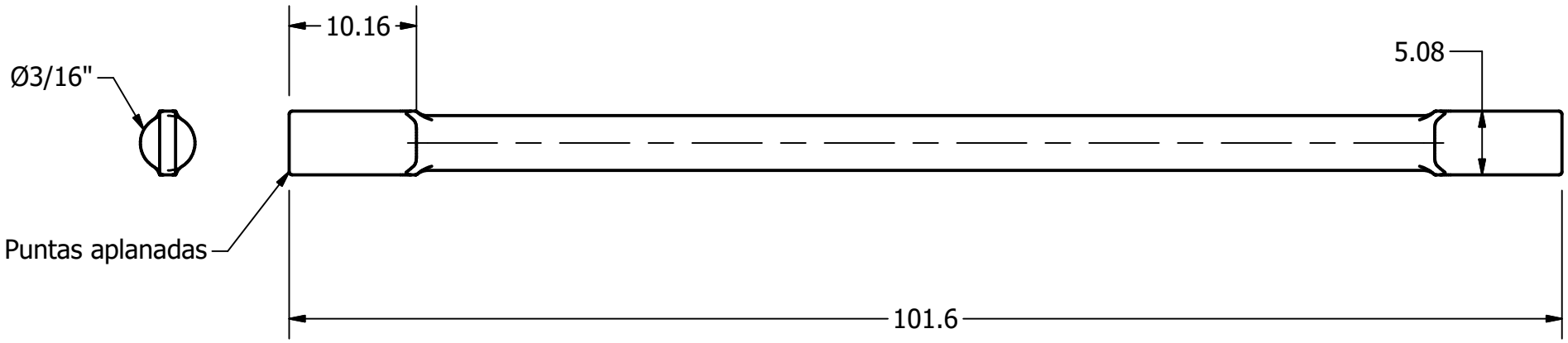
LISTA DE PARTES		
No. DE PARTE	NOMBRE	CANTIDAD
1	Base del soporte	1
2	Barra del soporte del foco	1
3	Porta foco	1

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO

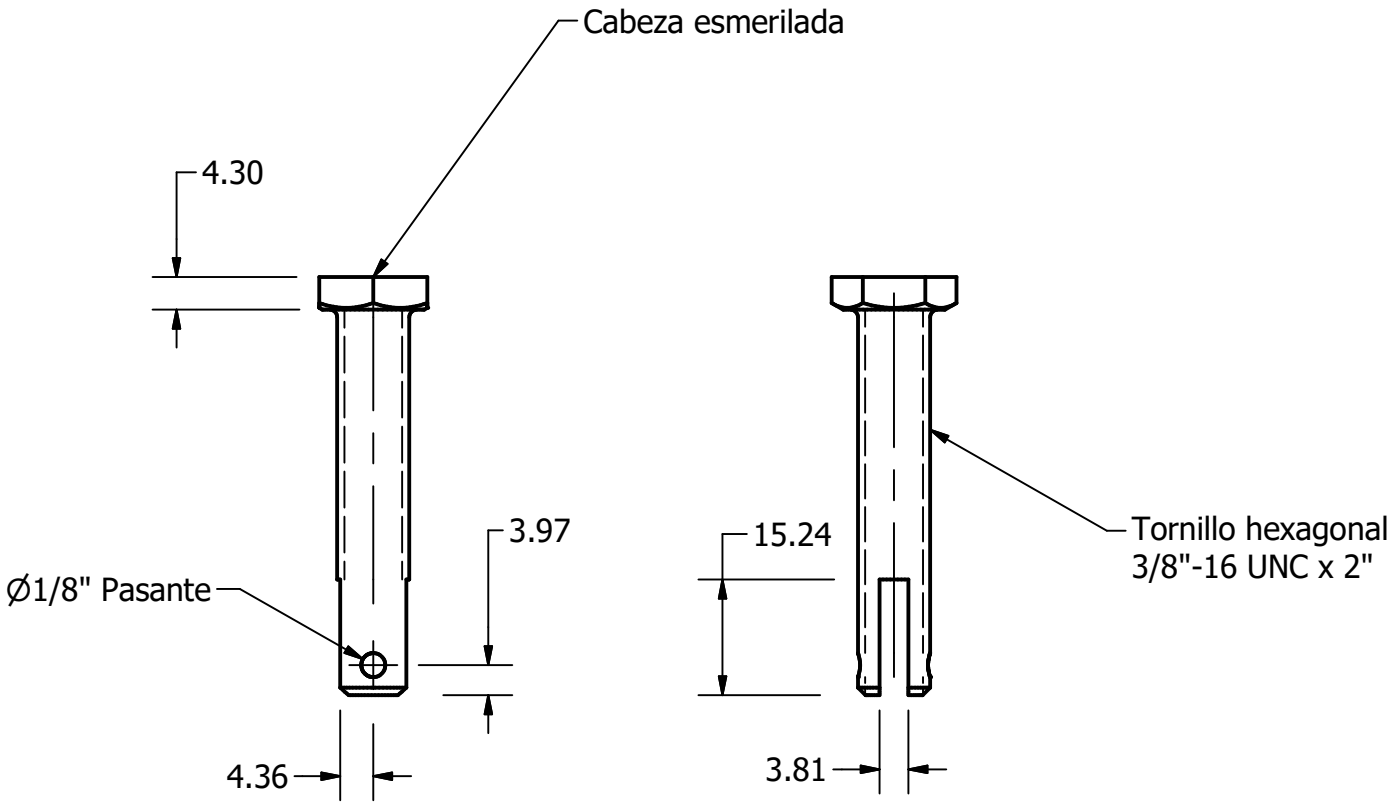
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
MATERIAL: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Soporte del foco**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 12/16



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.1 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **TORNILLO SUPERIOR**	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 13/16

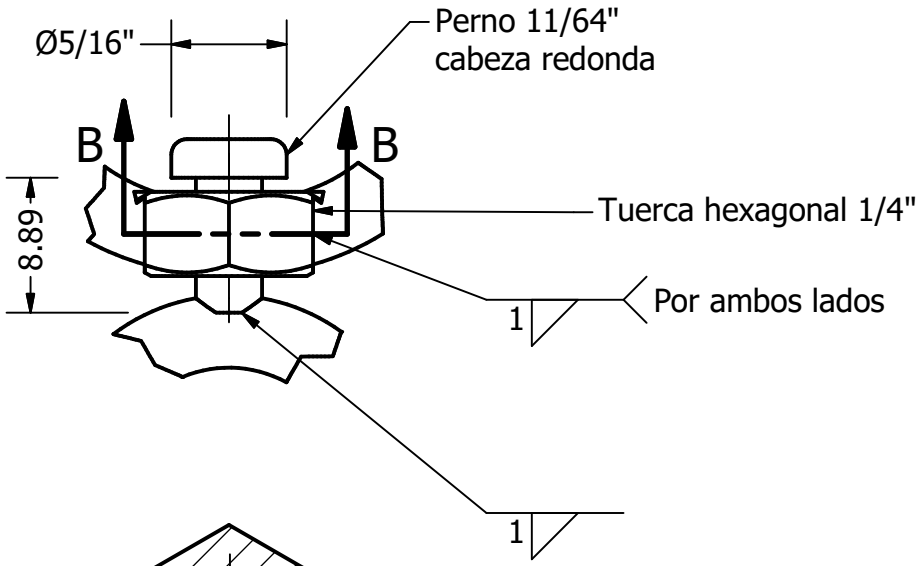


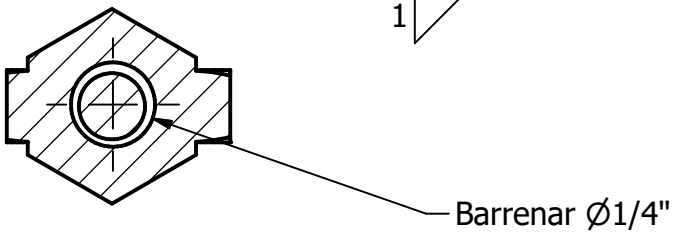
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 1 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Maneral**	**ESCALA:** 2:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1
		No. DE DIBUJO: 14/16



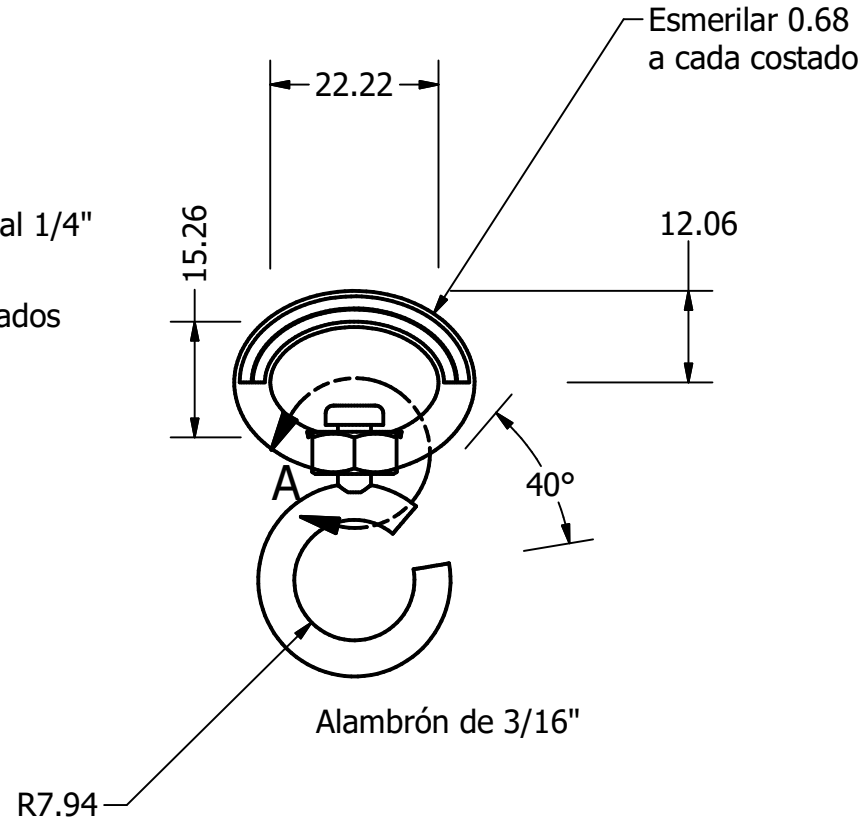
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO			
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.1 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González	
Material: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz	
PIEZA: TORNILLO INFERIOR	**ESCALA:** 1:2	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno	
		No. DE PIEZAS: 1	
		No. DE DIBUJO: 15/16	

DETALLE A
ESCALA 2 : 1

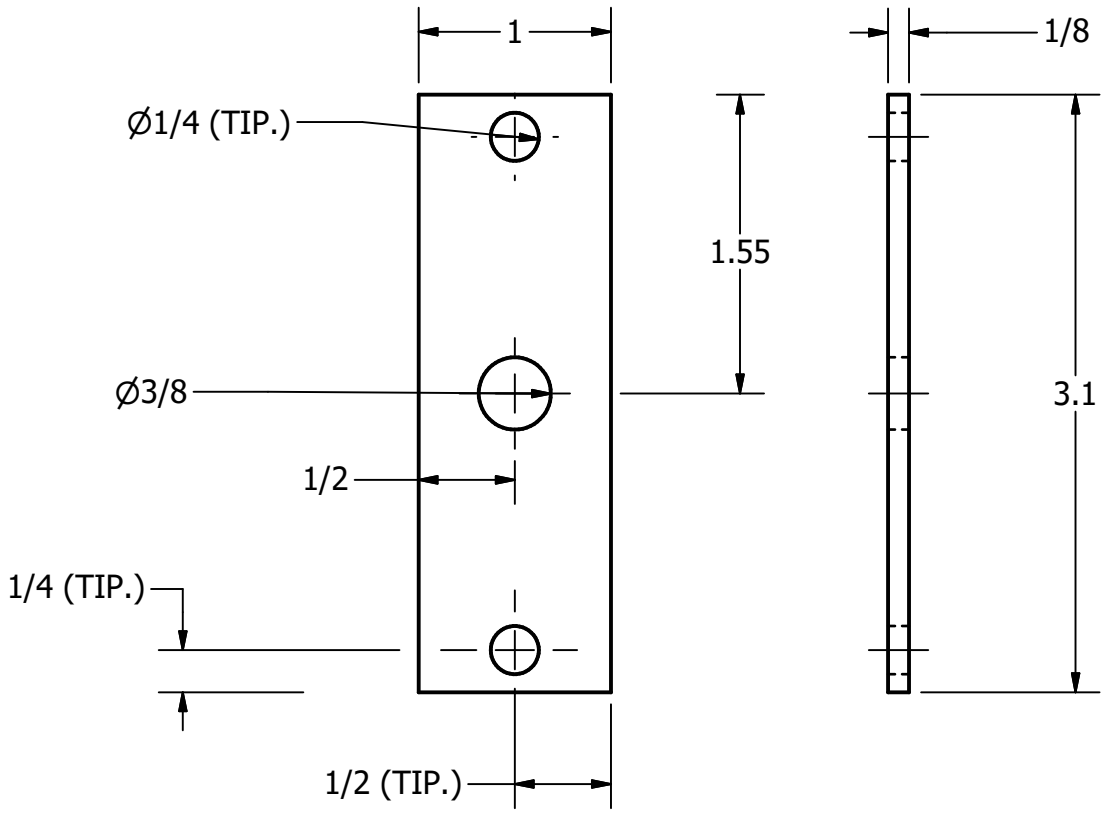




SECCIÓN B-B
ESCALA 2 : 1

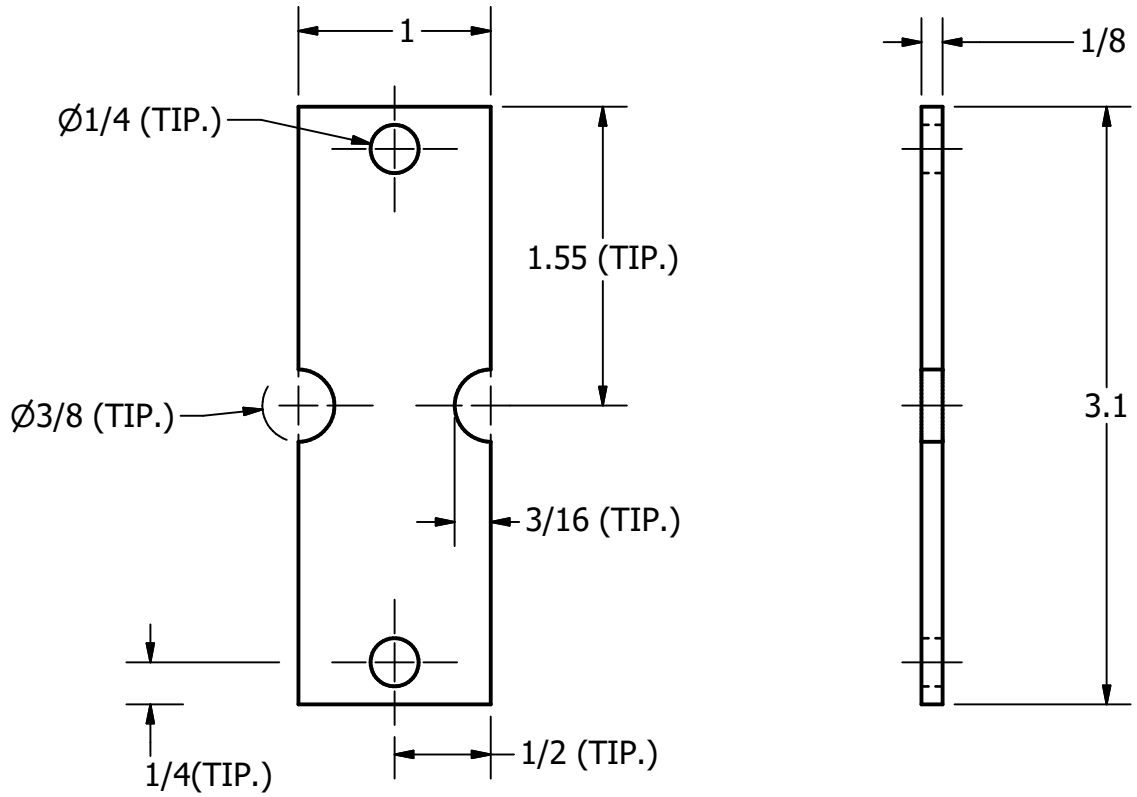


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Acero	**ACOTACIONES:** mm	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **DESTORCEDOR**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 2
		No. DE DIBUJO: 16/16

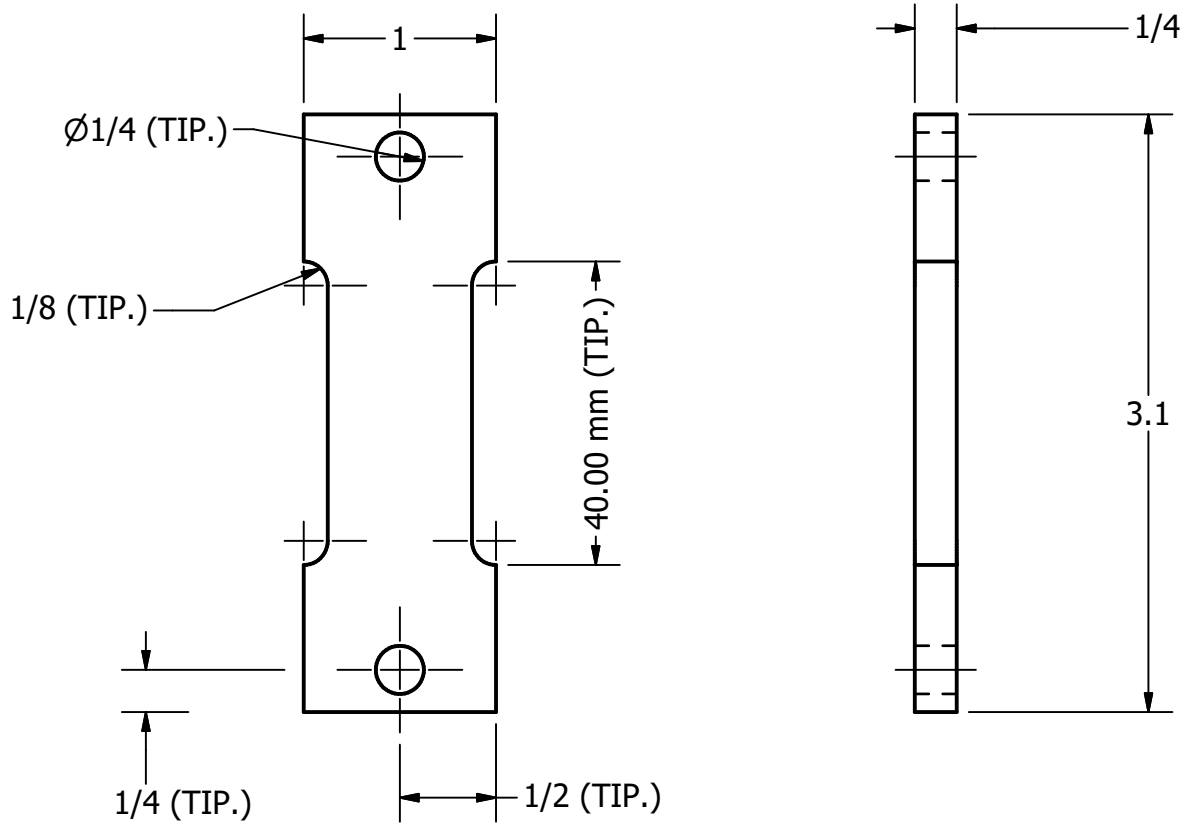


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO

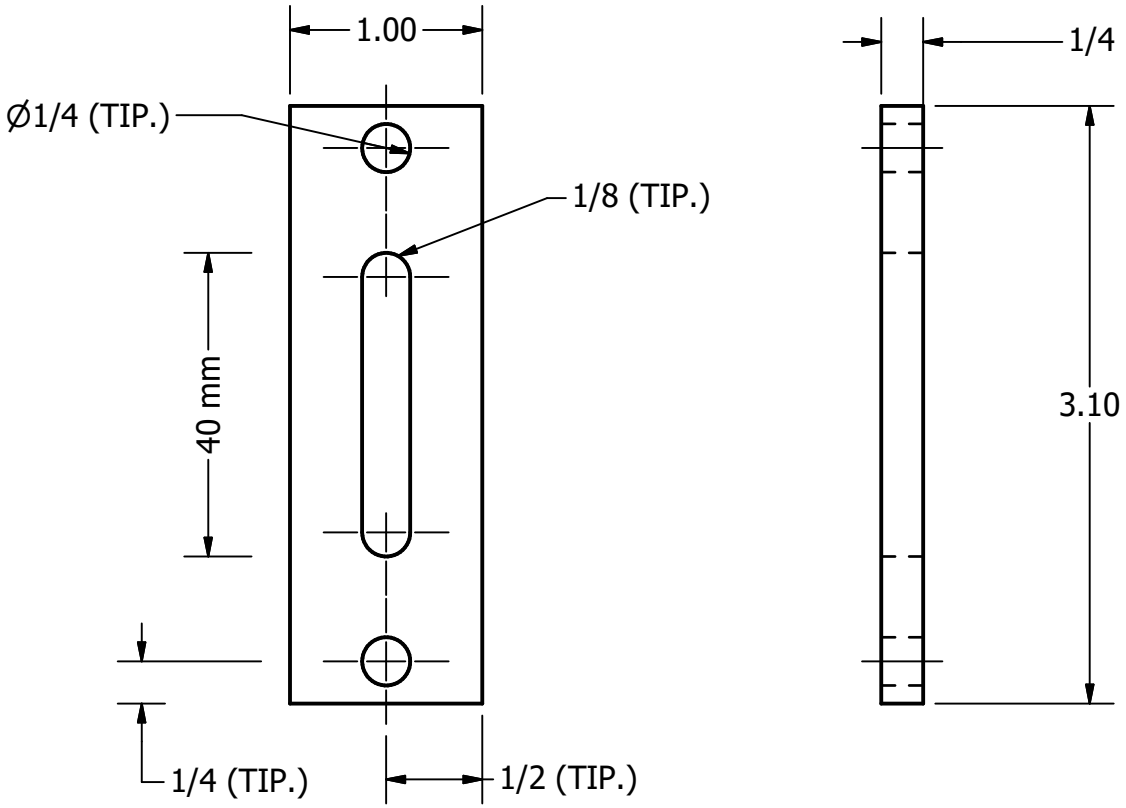
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Lexan	**ACOTACIONES:** in	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Probeta 1**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO		
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Lexan	**ACOTACIONES:** in	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Probeta 2**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO			
PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González	
Material: Lexan	**ACOTACIONES:** in	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz	
PIEZA: **Probeta 3**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno	
		No. DE PIEZAS: 1	



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO

PROYECTO: Polariscopio didactico	**TOLERANCIAS:** ± 0.5 mm	**DIBUJÓ:** Abraham Chavelas González
Material: Lexan	**ACOTACIONES:** in	**REVISÓ:** Dr. José Luis Ramírez Cruz
PIEZA: **Probeta 4**	**ESCALA:** 1:1	**APROBÓ:** Ing. Romy Pérez Moreno
		No. DE PIEZAS: 1