

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**ESCUELA DE FÍSICA**



**Tesis**

**Título**

**Diseño y construcción de un equipo óptico para análisis de esfuerzos**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**AUTORES**

**BACH. FIS. CAMPOS BOCANEGRA ARNHOL KEVIN**

**BACH. FIS. TRUJILLO LECCA JORGE ANTONIO**

**ASESOR**

**LIC. FIS. CASTAÑEDA AKAMINE JAVIER ALEJANDRO**

**Lambayeque, Perú**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**ESCUELA DE FÍSICA**



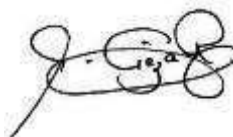
**Tesis**

**Título**

**Diseño y construcción de un equipo óptico para análisis de esfuerzos**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA**


**Aprobada ante el siguiente jurado:**



---

**Dr. Cieza Ramos, Arnulfo**


**Presidente del jurado**



---

**Mg. Tuñoque Gutierrez, Justo Vladimir**

**Secretario del jurado**



---

**Mg. Prada Marchena, Jara Hernan**

**Vocal de jurado**



---

**Lic. Castañeda Akamine, Javier Alejandro**

**Asesor**



---

**Bach. Campos Bocanegra, Arnhol Kevin**

**Tesista**



---

**Bach. Trujillo Lecca, Jorge Antonio**

**Tesista**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DECANATO**  
Ciudad Universitaria - Lambayeque



**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 031-2021-D/FACFyM**

Siendo las 11:30am del día miércoles 22 de Setiembre del 2021, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/dev-atqb-hko7hs=224> los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada: "Diseño y construcción de un equipo óptico para análisis de esfuerzos".

Designados por Decreto N° 012-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 08 de Octubre de 2020 y su Modificatoria el Decreto N° 021-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 22 de Octubre de 2020.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

**Dr. Arnulfo Cieza Ramos**

Presidente

**Mg. Justo Vladimir Tuñoque Gutiérrez**

Secretario

**M.Sc. Jara Hernán Prada Marchena**

Vocal



La tesis fue asesorada por el Lic. Fís. Javier Alejandro Castañeda Akamine, nombrado por Decreto N° 012-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 08 de Octubre de 2020 y su Modificatoria el Decreto N° 021-2020-VIRTUAL-UI/FACFyM de fecha 22 de Octubre de 2020.

El Acto de Sustentación fue autorizado por RESOLUCIÓN N° 654 -2021-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 10 de Setiembre 2021. La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres:

Campos Bocanegra Arnhol Kevin y Trujillo Lecca Jorge Antonio y tuvo una duración de 1 hora, 20 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de 16.5 (dieciséis, cinco décimas) en la escala vigesimal, mención bueno.

Por lo que quedan aptos para obtener el Título Profesional de **Licenciado en Física** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:50pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Arnulfo Cieza Ramos**  
Presidente  


**M.Sc. Jara Hernán Prada Marchena**  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
**Mg. Justo Vladimir Tuñoque Gutiérrez**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**Lic. Fis. Javier Alejandro Castañeda Akamine**  
Asesor

# DECLARACIÓN JURADA

Nosotros, Arnhol Kevin Campos Bocanegra y Jorge Antonio Trujillo Lecca, investigadores principales e Lic. Fis. Javier Alejandro Castañeda Akamine, asesor del proyecto de investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ÓPTICO PARA ANÁLISIS DE ESFUERSOS” declarar bajo juramento que el presente trabajo de investigación no ha sido plagiado, tampoco contiene datos falsos. En caso se demuestre lo contrario, asumiré responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiese lugar, que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, enero del 2021

investigadores:

Bach. Arnhol Kevin Campos Bocanegra.

Bach. Jorge Antonio Trujillo Lecca.

Asesor:

Lic. Fis. Javier Alejandro Castañeda Akamine

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto, ha estado dedicado a Dios, a mi familia y a mis padres, debido a que, gracias a mi mamá, es que he podido pasar todas las dificultades de la vida, gracias a mi padre, he contado con la paciencia debida, para solucionar complejos problemas de mi vida diaria y mi hermana, ha sido la responsable de brindarme buenos consejos. Así mismo, le agradezco a mi abuelo, debido a que he cumplido todo lo que le prometí, a mi enamorada, por escucharme y guiarme en el buen camino; así como, a todas aquellas personas que me han ayudado en los momentos más complejos.

**Arnhol Kevin Campos Bocanegra**

Es un orgullo poder culminar unos de los primeros objetivos en mi vida profesional. Gracias al apoyo de mi madre y mi abuela quienes siempre estuvieron dándome motivación e impulso hoy puedo decir meta cumplida.

**Jorge Antonio Trujillo Lecca**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a todos nuestros maestros por el tiempo y por el esfuerzo que han invertido en nosotros; así como a la universidad, por dotarnos de los profesionales suficientes y capaces que se han encargado de darnos cátedra, en cada una de las clases que nos fueron impartidas.



# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I: MÉTODOS Y MATERIALES .....</b>	<b>31</b>
1.1.    Diseño de contrastación de hipótesis .....	31
1.2.    Población, muestra y muestreo .....	31
1.3.    Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
1.4.    Método de procesamiento de la información.....	32
1.5.    Principios éticos .....	32
<b>CAPÍTULO II: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
2.1.    Resultados .....	33
2.1.1.    Descripción del equipo .....	33
2.1.2.    Componentes del equipo .....	33
2.1.3.    Diseño del polariscopio .....	36
2.1.4.    Preparación de las probetas.....	39
2.1.5.    Elaboración de modelos .....	42
2.1.6.    Experimentación.....	44
2.2.    Discusión .....	60
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## RESUMEN

En el presente trabajo, se ha empleado el método de los elementos finitos; así como, la técnica de la fotoelasticidad, en donde se ha podido contar con la determinación de los esfuerzos que han sido producidos acerca de los diferentes diseños, expuestos a determinadas cargas, tales como las cargas de compresión. Con la finalidad de que se pueda realizar diferentes ensayos de probetas, es que se ha contado con el diseño y la conformación de un polariscopio, mediante el cual se han obtenido resultados del análisis fotoelástica. A consecuencia de la confiabilidad de la técnica mencionada, fue que se ha evidenciado la dependencia de la calibración del material, en base a una constante fotoelástica, mediante el análisis estadístico variable. Luego, tomando como referencia ala constante fotoelástica, se han determinado esfuerzos del modelo, los cuales han sido comparados con elementos finitos, demostrándose la hipótesis planteada.

**Palabras clave:** Fotoelasticidad, polariscopio, elementos finitos, resina epóxica.

## ABSTRACT

In the present work, the finite element method has been used; as well as the photoelasticity technique, where it has been possible to count on the determination of the efforts that have been produced on the different designs, exposed to certain loads, such as compression loads. In order to be able to carry out different tests on specimens, the design and conformation of a polariscope have been used, through which results of the photoelastic analysis have been obtained. As a consequence of the reliability of the aforementioned technique, the dependence of the calibration of the material, based on a photoelastic constant, has been evidenced by variable statistical analysis. Then, taking the photoelastic constant as a reference, efforts of the model have been determined, which have been compared with finite elements, demonstrating the proposed hypothesis.

**Keywords:** Photoelasticity, Polariscope, Finite Elements, Epoxy Resin

## INTRODUCCIÓN

El ámbito de la ingeniería, ha contado con una serie de innovaciones que se han realizado con el pasar de los años, en donde uno de los artefactos más útiles que han contando con invención, ha sido el polariscopio, el cual ha sido empleado al día de hoy, por la industria automotriz, con la finalidad de que se puedan medir los diferentes esfuerzos inducidos en el vidrio de los autos, con la finalidad de que se puedan detectar las diferentes concentraciones de carga, dentro del proceso de ensamblaje de los parabrisas. Ante esta medición, es que la utilidad recae en el hecho de poder evaluar diferentes medidas correctivas, dentro del objeto de estudio, con la finalidad de poder contar con una reducción en la incidencia de índices de rotura, convirtiendo al elemento “parabrisas”, en un medio de alta resistencia y libre de fallas (Navarro y Paz, 2016).

Así mismo, los avances tecnológicos, relacionados directamente con la implementación de sistemas electrónicos, han evolucionado significativamente, pudiendo superar a los métodos tradicionales de análisis de materiales, los cuales llegan a ser menos utilizados con el pasar del tiempo, principalmente por la incidencia de errores o los cambios no controlados que dejan de poder ser manipulados o compensados por el laboratorista (Alevar y Haro, 2016).

Por este motivo, es que la implementación de nuevos ensayos, tales como la aplicación de la técnica experimental de la fotoelasticidad, ha correspondido a haber sido una mejora en el análisis de distribución de esfuerzos. Este ensayo, se ha caracterizado por aprovechar el fenómeno que se llega a producir, cuando un rayo de luz polarizada, tiende a viajar por medio de un material transparente, conllevando a que se pueda evidenciar la variación de colores, de acuerdo al esfuerzo que se somete cada segmento del material (Alevar y Haro, 2016).

El método de la fotoelasticidad, puede llegar a emplearse no solo para el diseño, sino para mantener el rediseño de las diferentes partes o elementos estructurales, en donde se requiere mantener una mínima incidencia de falla, con la finalidad de que se pueda optimizar la forma, el peso o de que se pueda mantener la selección de un adecuado material. Así mismo, se puede indicar la existencia de la birrefringencia, el cual es un fenómeno óptico, el cual se basa en la observación del ser humano, mediante la implementación de un anisótropo.

Es decir, la onda que llega a ser empleada por el método mencionado, se llega a subdividir en dos diferentes direcciones, las cuales son analizadas, y pueden ser sinónimo de una modificación en la polarización de la luz que ha atravesado al cuerpo, pudiendo informar acerca de los esfuerzos a los que fue sometido un determinado cuerpo, permitiendo incluso, la identificación de márgenes integrales, tomando como referencia de localización, el centro de las franjas foto elásticas (Resendiz y Palacios, 2017).

Además, como una medida de ampliación hacia la teoría del conocimiento, la fotoelasticidad, puede ser entendida como una técnica experimental, para la cual los diferentes esfuerzos y deformaciones, pueden llegar a ser medidos o dibujados, en diferentes formas, permitiendo que esta información sea procesada y entendida como un medio de síntesis geométrica. Producto de esta medición, es que se puede llegar a evaluar el cambio de índice de retracción, de un determinado elemento, sometido a una carga específica.

En base a la realidad acontecida anteriormente, es que la investigación se ha planteado el siguiente problema de investigación ¿Qué debemos de tomar en cuenta para medir esfuerzos en una pieza bidimensional? Mientras que, los problemas específicos, serán:

¿Cómo realizar el proceso apropiado para aplicar la técnica óptica respectiva en la determinación de esfuerzos? ¿Qué materiales tiene propiedades birrefringentes y que puedan ser utilizados en los ensayos de la construcción del equipo? ¿Cuáles son las características de los equipos necesarios para el análisis de esfuerzos?

Desde un ámbito científico, el desarrollo de esta investigación, ha sido beneficiosa para contar con el diseño y construcción de un dispositivo, que recurra a la técnica óptica, con la finalidad de establecer el cálculo de diferentes tensiones en diferentes tipologías de vidrios, ya que convierte de luz blanca a luz polarizada y lo hace mediante un filtro polarizador, de esta manera se direcciona al recipiente de vidrio y así se comprueba y compara los variados colores que son producidos por los diferentes estándares calibrados.

Así mismo, desde el ámbito técnico, los resultados de la investigación, corresponderán a ofrecer una medida aplicativa significativa, del dispositivo construido, en diferentes ámbitos, tanto en el área académica o por diversas instituciones que se encuentren interesadas en caracterizar las fallas existentes en diferentes elementos, transparentes

o que han sido adaptados para la aplicación de este dispositivo.

Así mismo, el objetivo general planteado, ha sido: Diseñar y construir un equipo para medir esfuerzos en una pieza bidimensional. Mientras que, los objetivos específicos planteados, fueron: 1) Establecer el proceso apropiado para aplicar la técnica óptica respectiva en la determinación de esfuerzos; 2) Determinar que materiales tienen propiedades birrefringentes y que puedan ser utilizados en los ensayos de la construcción del equipo; 3) Analizar las características de los equipos necesarios para el análisis de esfuerzos. Además, de acuerdo a lo establecido, se ha planteado la siguiente hipótesis: El equipo diseñado y construido, podrá medir los esfuerzos en una pieza bidimensional.

En base a las exposiciones realizadas, se ha procedido a señalar la existencia de los siguientes antecedentes de la investigación:

Alvear y Haro (2016), Ecuador, se han planteado como objetivo general, el diseñar e implementar un equipo experimental, con la finalidad de poder medir esfuerzos mecánicos en elementos transparentes. La metodología se ha caracterizado por haber contado con un diseño descriptivo, en donde el objeto de estudio, ha sido los elementos transparentes de determinación de esfuerzos, recolectando los datos, por medio de la ficha de observación. Los resultados han señalado que, un total de 12 probetas analizadas, han contado con datos de fotoelasticidad fiables, en donde los esfuerzos principales, han correspondido a establecer un error máximo del 29%. Además, se ha concluido que, el ensayos de fotoelasticidad, no solo ha cumplido con las expectativas, sino que ha sido considerado como fiable, respecto a los ensayos de tracción.

De la Torre (2017), México, se ha planteado como objetivo general, el analizar las fracturas en la realización de ensayos a compresión, mediante el empleo de pruebas ópticas. La investigación se ha caracterizado por haber sido de tipo básica, con un diseño descriptivo, en donde se ha considerado como tamaño muestral, a un total de 12 unidades experimentales. Los resultados han señalado que, la información del comportamiento mecánico, ha dejado en exposición, la determinación eficaz del grado de generación de grietas, en donde la densidad de refuerzo, ha correspondido a poder establecer la evaluación de técnicas ópticas que han caracterizado a las fracturas. Así mismo, se ha concluido que, la forma de las probetas y el material característico, ha influido directamente en el porcentaje de error de los ensayos realizados.

Bríñez (2020), Colombia, se ha planteado como objetivo general, el evaluar el campo de los esfuerzos, mediante el análisis dinámico temporal de la secuencia de imágenes fotoelásticas. La investigación ha sido de tipo básica, con un diseño no experimental, en donde se ha considerado como objeto de estudio, a diferentes puntos isotrópicos de evaluación, permitiendo la detección de zonas de inconsistencias. Los resultados han señalado que, las oportunidades de estudio, en cuanto a la fotoelástica digital, han contemplado una serie de elementos dinámicos de clasificación y de descripción del comportamiento temporal del color, habiendo sido considerado como una estrategia de análisis de diferentes situaciones de esfuerzos, respecto a la presencia de técnicas convencionales. Además, se ha concluido que, el método de clasificación analizado, ha contado con un nivel de eficiencia, mucho mayor, respecto a los métodos convencionales y en relación a las derivaciones híbridas.

Ibañez (2017), España, se ha planteado como objetivo general, el analizar los procesos de fractura que han caracterizado a la poliamida reforzada con fibra de vidrio, en cuando a las condiciones de micro estructura y de determinación de cargas de rotura. Así mismo, la metodología fue de tipo básica, en donde se ha buscado establecer una mayor medida de conocimiento, respecto a las variables y condiciones de estudio; mientras que, se ha considerado como objeto de estudio, a la poliamida reforzada. Los resultados han señalado que, la aplicación de los conocimiento en mecánica de fractura, han coincidido en determinar fisuras en diferentes situaciones de rangos, dentro de los cuales, las diferentes evaluaciones que han sido entalladas, han complementado la carencia de conocimiento que ha sido establecida. Además, se ha concluido que, se han aplicado dos teorías existentes, tanto la teoría de las distancias críticas y la teoría de la densidad de energía de deformación, para poder establecer el análisis de validez del modelo.

Cano (2017), Colombia, se ha planteado como objetivo general, el diseñar e implementar una serie de medidas de polarización, en cuanto a la medición cuantitativa de diferentes propiedades polarimétricas, en diferentes muestras biológicas. La metodología se ha caracterizado por haber sido de diseño experimental, en donde se ha considerado como tamaño muestral, a un total de 5 unidades de muestreo, en donde la recolección de datos, fue realizada por medio de las fichas de observación. Los resultados han señalado que, las muestras biológicas han llegado a presentar una serie de elementos directos y de requerimiento de interpretación científica, en donde el



procesamiento de imágenes ha permitido el establecimiento de condiciones fisiológicas y medición de espesor de las unidades de muestreo biológico. Mientras que, se ha concluido que, la funcionalidad y las propiedades polarimétricas, han señalado la evidencia de efectividad en la determinación de características de la muestra, tomando como referencia a planos de profundidad.

Vásquez (2019), Málaga, se ha planteado como objetivo general, el caracterizar las grietas de fatiga, en base a la difracción de los rayos X de sincrotrón. La metodología se ha caracterizado por haber sido básica, con un diseño descriptivo, en donde se ha establecido un tamaño muestral, conformado por un total de 2 materiales de evaluación, habiendo recolectado los datos, por medio de la ficha de observación y la ficha documental. Los resultados han señalado que, se ha demostrado la existencia de alta precisión en la medición de difracción de rayos X, en cuanto a los siguientes materiales: acero inoxidable y aleación de Al – Li. Mientras que, se ha concluido que, para la realización de una medición efectiva, ha sido necesaria la repetición de hasta tres veces, la medición, con la finalidad de poder establecer un menor grado de error.

Así mismo, después de haber expuesto los antecedentes mencionados, se procede a señalar las bases teóricas pertinentes a la investigación:

La **fotomecánica** se encuentra detallada, en cuanto al enlace que ha existido, respecto a la fotónica y la mecánica. Así mismo, cuando se habla acerca de la fotónica, se puede señalar que esta es la ciencia del control, en donde la detección y la generación de fotones, corresponde a mantener la necesidad de consideración de una unidad básica, siendo esta, el fotón. Además de ello, respecto a la mecánica, esta es la ciencia que se encarga de estudiar los cuerpos en estado de reposo y movimiento, tanto para los sólidos, como para los líquidos, donde su comportamiento, puede ser variable, dependiendo de las causas externas. Mientras que, la fotomecánica, está representada por una serie de técnicas, las cuales requieren del empleo de variaciones físicas importantes, tales como: los esfuerzos, el trabajo, etc (Kitagawa et al., 2018).

Para el caso de la **luz**, esta representa a la forma de propagación rectilínea, la cual tiene la capacidad de poder estimular la retina en el ojo humano, exponiendo una serie de sensaciones visuales, en donde el color es consecuencia de la interacción que se ha mantenido, respecto a la materia y la energía. Mientras que, la luminotecnia es considerada como la ciencia que se encarga de estudiar las diferentes formas de

producción de luz, en donde se llega a estudiar el comportamiento, las características y las diferentes manifestaciones relacionadas (Yu et al., 2019).

Así mismo, la naturaleza de la luz ha sido considerado como uno de los grandes problemas de la ciencia, en donde diferentes científicos se han encargado de realizar investigaciones al respecto, tales como: Isaac Newton y Max Plank, pudiendo ser interpretado de diferentes formas: llegó a ser considerada como un corpúsculo que se encarga de viajar alrededor del espacio, en línea recta, se consideró como un elemento que se transmite de forma similar a las ondas del sonido, llegando a requerir de un medio de transporte; mientras que, las ondas electromagnéticas, como se les consideró, encontraron características muy similares a las ondas de radio o han sido bien comprendidas como paquetes de energía, bien conocido como “Cuanto” (White, 2018).

Dentro de las características de la luz, se puede señalar la existencia de lo siguiente: Longitud de onda ( $\lambda$ ), amplitud de onda (A), velocidad de onda (c) y frecuencia (v). Además de ello, es que la luz, cuando tiende a recaer sobre un determinado cuerpo, su comportamiento llega a cambiar de forma considerable, dependiendo de la superficie del elemento mismo y de la estructura interna de este, en donde la inclinación de los rayos, puede generar la ocurrencia de los siguientes fenómenos (Kondo, 2020).

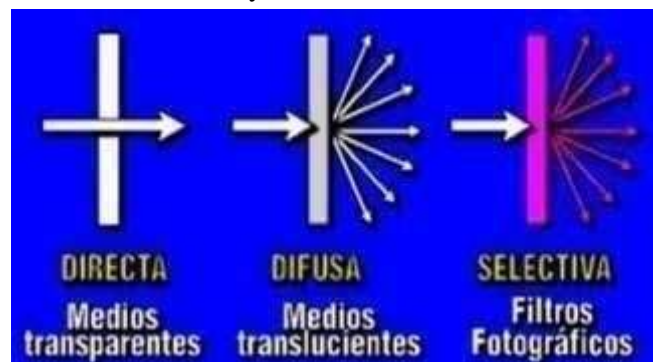
La luz de día o bien conocida como la luz blanca, es conformada por diferentes vibraciones que poseen diferentes frecuencias, las cuales pueden llegar a ser distinguidas una a partir de otra, en donde el color de luz, se encuentra relacionado con la frecuencia (f) y la longitud de onda  $\lambda$  de la luz ( $\lambda \cdot f = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ). La luz visible es aquella a la que los ojos son sensibles, consta de frecuencias que van desde  $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$  hasta  $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  que corresponden a las longitudes de onda en el aire aproximadamente 400 a 750 nm.

En relación a los **materiales foto elásticos**, estos tienen que contar con las siguientes características deseables: el modelo deberá de transmitir la luz, requiriendo de materiales claros que permitan la transmisión de una cantidad máxima de luz, se tendrá que poseer el efecto birrefringente necesario para la polarización de la luz, el material deberá de ser fácil de fabricar en base al modelo, este tiene que tener la característica de mantener un esfuerzo de deformación lineal, con un alto límite de proporcionalidad, un elevado módulo de Young y la relación entre el efecto óptico y el esfuerzo, tiene

que ser de tipo lineal (Wang et al., 2019).

La **transmisión**, es considerado como un fenómeno, en donde la luz se encarga de atravesar a objetos no opacos, en cuando a este fenómeno, se puede evidenciar a la existencia de diferentes tipos de transmisores, dentro de los cuales, se pueden encontrara los siguientes elementos: la transmisión directa es originada cuando el has de luz se desplaza en un nuevo medio integrador, principalmente de forma lineal, biencomprendidos como medios transparentes. Así mismo, la transmisión difusa, es originada por el hecho de que, en el interior del cuerpo, el rayo sufre diferentes malformaciones, en relación a sudirección, a estos medios, se les conoce como medios translucientes. Además de ello, la transmisión selectiva, llega a ocurrir cuando los materiales, presentan longitudes de ondas determinadas, las cuales permiten que se absorban los rayos, dentro de esta categoría, se encuentran a los filtros fotográficos (Smith et al., 2019).

Figura 1 Transmisión directa, difusa y selectiva



Fuente: Google Photos

El fenómeno de **absorción**, es aquel fenómeno que incide en el rayo de luz visible, en donde la superficie de oscura, tiende a absorber la totalidad del calor, dentro de lo cual, el coeficiente de absorción, es considerado con un valor desigual, respecto a las diferentes longitudes de onda del espectro visible. Para poder comprender el fenómeno de la absorción, se puede exponer el siguiente ejemplo: cuando la luz blanca, llega a colisionar, respecto a un objeto específico, es que gran parte de los colores que llegana conformar al rayo de luz, son absorbidos por la superficie y el resto tiende a ser reflejado. Es decir, sies que es reflejado un rayo de luz roja, la superficie tiende a absorber el resto de los componentes de la luz blanca, y la luz roja tiende a ser reflejada, tal y como se muestra, en la siguiente figura (Lansakara et al., 2020).

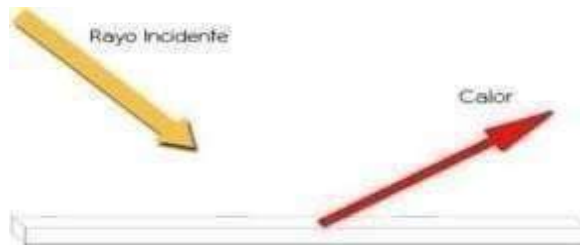


Figura 2 Absorción de la luz

Fuente: Google Photos

El fenómeno de **reflexión**, es aquel comportamiento anómalo que tiende a caracterizar a un rayo de luz, en donde las ondas electromagnéticas chocan con una determinada superficie de energía altamente radiante. Dentro de los fenómenos que son semejantes, se pueden exponer los siguientes tipos de reflexión: la reflexión especular, es aquella que ocurre, cuando la luz recae sobre una determinada superficie lisa y de tipo brillante, en donde el ángulo de incidencia, tiende a ser el mismo. La reflexión difusa, es aquella que ocurre, cuando la luz llega a caer sobre una superficie que no es del todo lisa y que se ha caracterizado por haber sido brillante, en donde el rayo es reflejado, hacia todas las direcciones. Mientras que, la reflexión mixta, suele darse, cuando existe un determinado predominio de una dirección, respecto a las demás, pudiendo encontrarse en aquellos elementos, como el papel brillante. Además de lo mencionado, la reflexión extendida, es entendida como la unión entre la reflexión de tipo especular y la difusa, contando con componentes difundidos de forma parcial, en base a las irregularidades de un elemento (Tong et al., 2020).

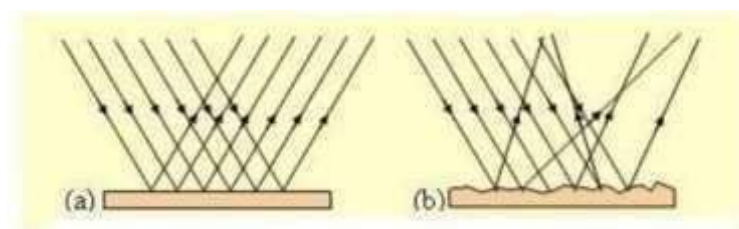


Figura 3 Reflexión especular y difusa

Fuente: Google Photos

En relación a las **leyes de Snell para la reflexión**, se puede señalar que estas postulan, lo siguiente: dentro del mismo plano, se puede encontrar al rayo incidente, al rayo normal y al rayo reflejado; mientras que, el ángulo de reflexión y el ángulo de

incidencia, cuentan con valores iguales, siendo representado por lo siguiente:

$$\theta_r = \theta_i$$

No se debe de olvidar que, al hablar de los ángulos de reflexión, se tiene que tomar en cuenta, a la incidencia de los referidos, dentro de la recta normal, en cuanto a la separación de medios.

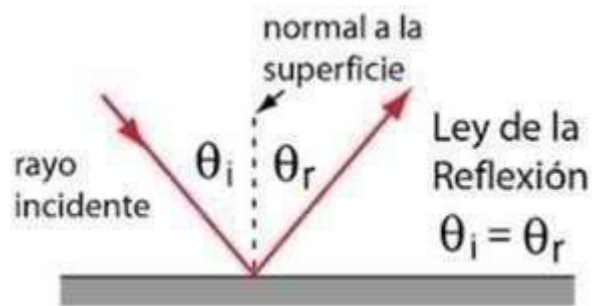


Figura 4 Leyes de Snell (Reflexión)

Fuente: Google Photos

Además de lo mencionado, la **dispersión**, llega a verse originada, cuando el índice de refracción de una determinada sustancia, llega a variar, dependiendo de la longitud de la onda. Con esto, se puede señalar la existencia de determinadas ondas, que suelen ser más largas y que se llegan a desviar, hacia ondas cortas. Así mismo, los efectos de dicho fenómeno, tienden a estar aplicados directamente, hacia instrumentos ópticos, tales como, el espectrómetro, empleado de forma directa, en espectros de lámpara (Kitagawa et al., 2020).

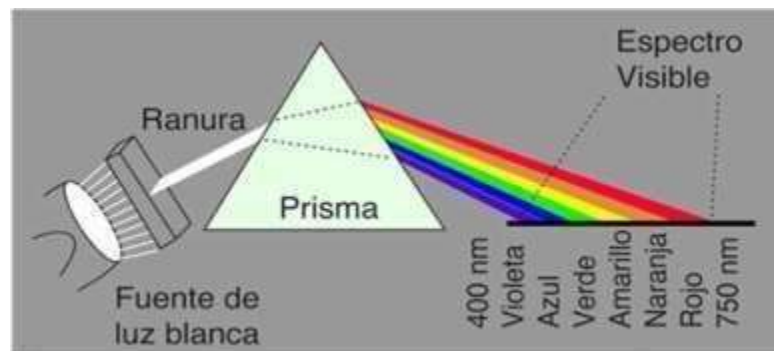
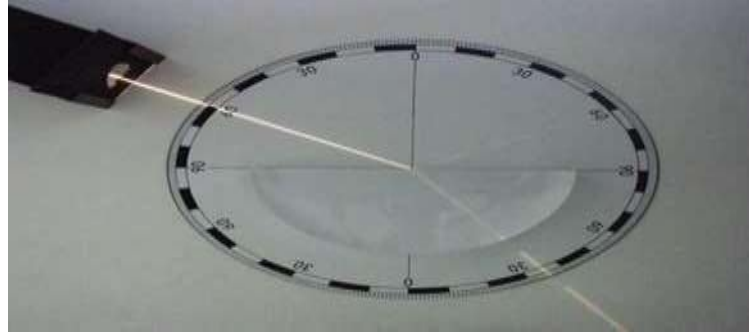


Figura 5 Dispersión de la luz

Fuente: Google Photos

En cuanto a la **refracción**, este fenómeno llega a ocurrir, cuando los rayos luminosos, caen de forma oblicua, sobre un medio transparente, en donde suelen pasar desde este elemento, hacia otro, con una densidad que experimenta el cambio de dirección, estando en función del ángulo de incidencia, del índice de refracción y de la longitud de onda.

Figura 6 Refracción de la luz



Fuente: Google Photos

En cuanto a las **leyes de Snell para la retracción**, se puede señalar que este fenómeno deberá de ser entendido más a fondo, comprendiendo la existencia de los siguientes postulados: dentro del mismo plano, se pueden encontrar a los tres tipos de rayos, los rayos incidentes, los reflejados y los normales. Mientras que, la segunda ley, señala que, la multiplicación de los índices de refracción, corresponde a ser una consecuenciadel medio incidente, en el seno del ángulo en el que se ha hecho incidencia directa, siguiendo la siguiente fórmula (Hazarika et al., 2021).

$$n_1 \text{Sen}\theta_1 = n_2 \text{Sen}\theta_2$$

Además, no se debe de olvidar que, los ángulos de reflexión y de incidencia, corresponden a estar referidos hacia la recta normal a una determinada superficie de medios.

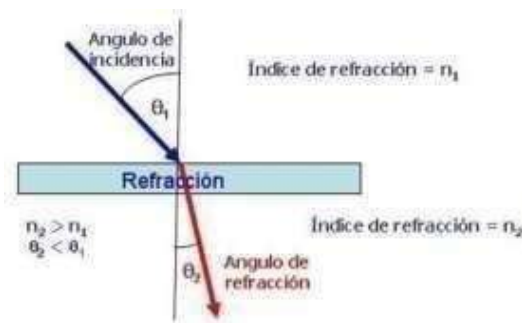


Figura 7 Leyes de Snell (Refracción)

Fuente: Google Photos

Si es que se habla acerca del **ángulo crítico**, se hace referencia a aquel rayo que pasa por medio de un elemento convencional de menor índice de refracción, el cual tiende a separarse de la normal, en donde el ángulo de incidencia llega a ser entendido como un valor inferior al ángulo de refracción mismo. El máximo valor que puede ser alcanzado, correspondiente al seno, es de valor 1. Por este motivo, es que suele existir un ángulo de incidencia límite, para los ángulos de refracción, no se suele producir. Dicho de otro modo, el ángulo de incidencia límite, es conocido como el ángulo crítico ( $\theta_c$ ) (Bai y Bhattacharya, 2020).

$$\text{Sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

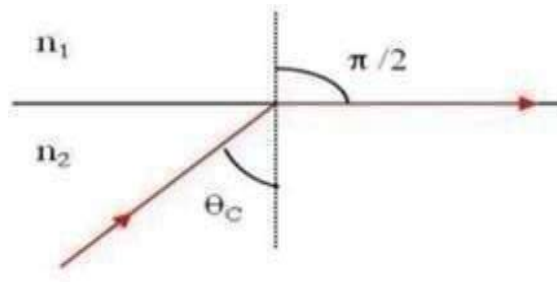


Figura 8 Ángulo crítico

Fuente: Google Photos

En relación a los **grados de desplazamiento**, estos son la máxima o la mínima desviación que puede ser producida por un rayo que incide, respecto a una normal determinada, en donde la refracción ha sido generada de forma consecuente. Además de ello, cabe señalar que, depende de la densidad óptica relativa, dependiendo de la variación de sustancias, el ángulo incidente y la longitud de onda. Mientras que, el índice de refracción específica, tiene relación directa con la velocidad en la que se propaga la luz, en el vacío; así como, sobre un material, quedando expresado de la siguiente manera (Bernhardt et al., 2018).

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde:

$n$ , es el índice de refracción del medio material.

$c$ , es la velocidad de propagación de la luz (en el vacío).

$v$ , es la velocidad de propagación de la luz (en el medio material).

La **difracción**, es considerada como un producto de la interferencia de ondas secundarias, en donde el haz de luz llega a pasar por un agujero pequeño, dentro de las cuales, dimensiones llegan a ser parecidas a las longitudes de onda. Uno de los efectos de este fenómeno, se ve representado por la detección a simple vista, pudiendo ser complementado por instrumentos ópticos, tales como: el microscopio, o un telescopio de alto aumento (Catalán, 2016).

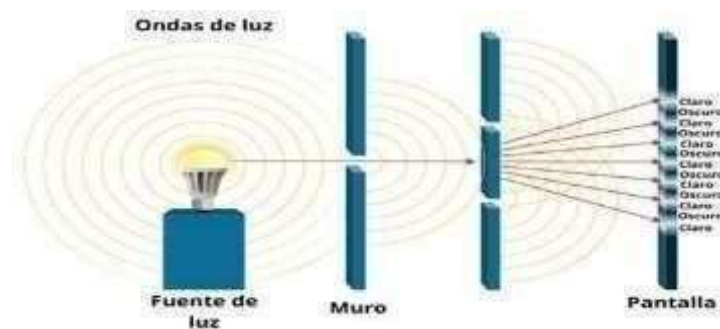


Figura 9 Difracción de la luz

Fuente: Google Photos

El **espectro electromagnético**, es el conjunto de ondas que buscan o de radiación de tipo electromagnética que un objeto puede llegar a emitir o la contrariedad, absorber. Acá aparece el término de espectroscopio, el cual permite que se observe el espectro, en términos de medida de longitud de onda o de frecuencia. Así mismo, existe cierta relación entre la longitud de la onda y la frecuencia, siendo entendida como una función de la velocidad de propagación de la luz (Kitagawa et al., 2018).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

$\lambda$ , es la longitud de onda de la radiación (m)

$f$ , es la frecuencia de la radiación (Hz)

$c$ , es la velocidad de propagación de la luz (en el medio material) (m/s)



Por otro lado, el **espectro visible**, es la porción de espectro que llega a ser percibido por el ojo humano, debido a que cuenta con radiaciones que se encuentran con longitudes de onda, de entre los 380 nm, a los 780 nm. Además, las longitudes de onda que se encuentren fuera de rango, son conocidas como radiaciones invisibles, tales como: infrarroja y ultravioleta.

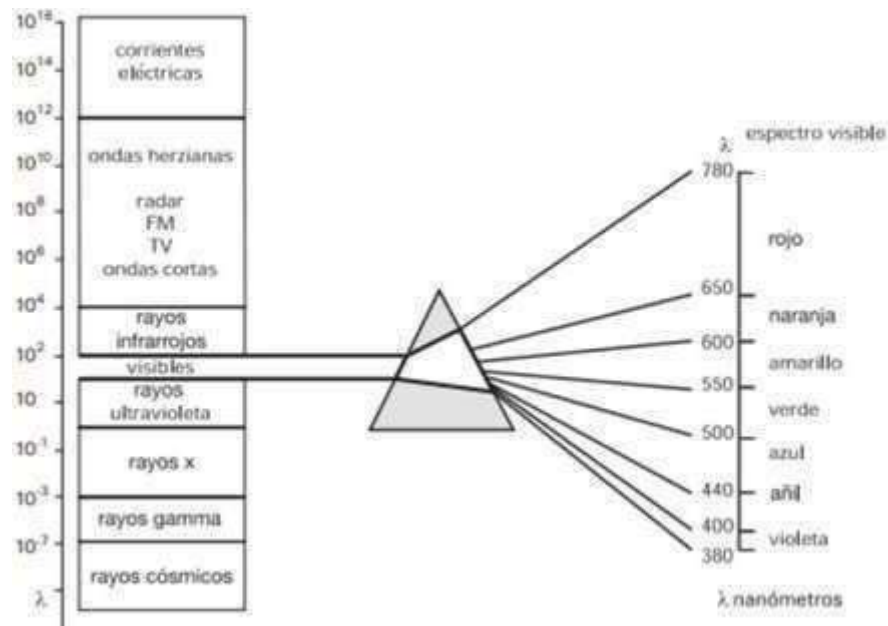


Figura 10 Espectro visible

Fuente: Google Photos

La **polarización electromagnética**, es un fenómeno que se acontece en base a las ondas electromagnéticas, tales como el rayo de luz, en donde el efecto del campo eléctrico, tiende a oscilar solo en una determinada superficie, recibiendo el nombre de plano polarizado. En dicho plano, es que se puede encontrar diferentes vectores, tales como: el vector paralelo a la trayectoria de la longitud de onda y el vector perpendicular, el cual está dirigido en la misma dirección, indicando de esta forma, la dirección del campo eléctrico. Por otro lado, si es que una onda electromagnética no cuenta con orientación, es bien conocida como elemento no polarizado; sin embargo, sucede todo lo contrario, cuando se habla acerca de un elemento con dirección preferencial. Las ecuaciones de Maxwell, tienden a encadenar los campos magnéticos y eléctricos, ofreciendo información, tanto en dirección, como en amplitud, del campo eléctrico y el campo magnético (Yu et al., 2019).

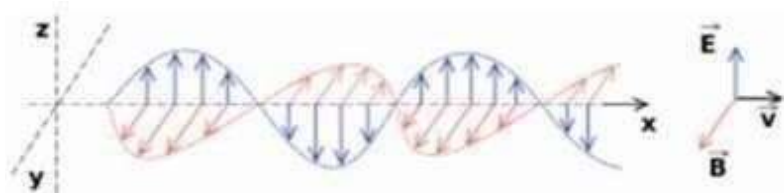


Figura 11 Espectro visible

Fuente: Google Photos

Los **estados de polarización de la luz**, se obtienen por medio de las superposiciones de ondas electromagnéticas luminosas, las cuales cuentan con la misma frecuencia y los vectores eléctricos, llegan a oscilar en diferentes direcciones de tipo perpendiculares. Actualmente, se puede señalar la existencia de tres sistemas polarizados, los cuales se derivan de las siguientes direcciones de luz: lineal, circular y elíptica polarizada. Respecto a la luz linealmente polarizada, esta hace referencia al vector de campo eléctrico, el cual se centra en mantener la oscilación, dentro de una sola dirección, en donde se puede encontrar la equivalencia misma, en base a la superposición de las ondas que tienden a compartir un valor de frecuencia igualitario, en base a valores perpendiculares, en donde el valor puede ir de entre  $0$  a  $\pi$  radianes (Kondo, 2020).

En la siguiente gráfica, se expondrán la vista frontal de la luz linealmente polarizada, en cuanto a la dirección pueda oscilar en forma de ángulo  $\alpha$  con el eje x (izquierda) y manteniendo un panorama completo, en base a una luz lineal polarizada, de acuerdo al eje.

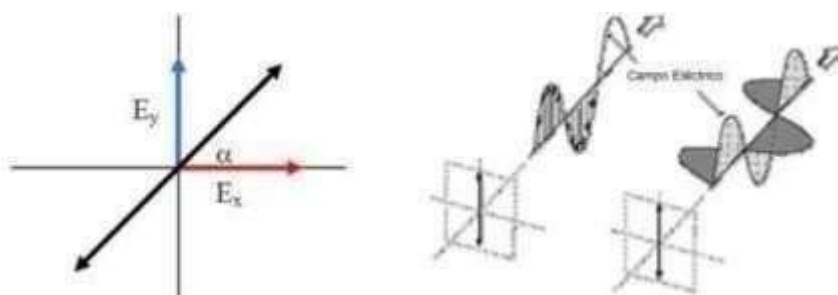


Figura 12 Luz linealmente polarizada

Fuente: Google Photos

Además de ello, cuando se habla acerca de la luz circularmente polarizada, se hace referencia a que el vector eléctrico, permita que se describa la trayectoria circular, la

cual equivale a la superposición de ondas de tipo luminosas, en donde se puede llegar a compartir una frecuencia similar, en cuanto a vectores similares, pudiendo mantener una amplitud de desfase ángulo  $\pi/2$  o  $3\pi/2$ .

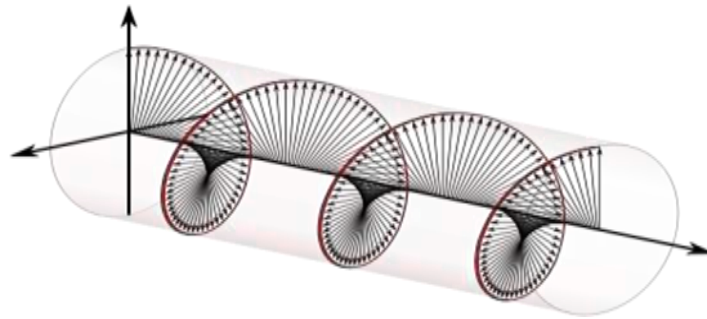


Figura 13 Luz circulante polarizada

Fuente: Google Photos

En relación a la luz elípticamente polarizada, se puede señalar que esta cuenta con un vector eléctrico, en donde el extremo describe la trayectoria que equivale a la superposición de las ondas de tipo luminosas, las cuales comparten un valor de frecuenciasimilar, en relación a vectores perpendiculares que cuentan con las siguientes amplitudes de desfase ángulo entre  $0 - \pi$  o  $\pi - 2\pi$  (Smith et al., 2019).

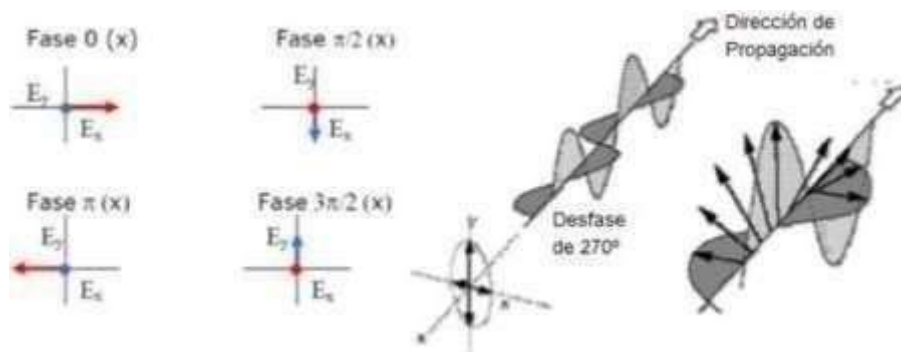


Figura 14 Luz elípticamente polarizada

Fuente: Google Photos

Si es que se ahonda en los **procesos para polarizar la luz**, se puede señalar la existencia de varias formas de polarización, en base a un haz luminoso, señalando lo siguiente: la polarización por reflexión, se plasma en una superficie, pudiendo ser plenamente, parcialmente o no polarizada, en donde se expondrá el uso del ángulo de dependencia, conocido como ángulo de polarización  $\theta_p$  y se calcula mediante la Ley de Brewster:

$$n = \tan \theta_p$$

Donde:

$n$ : es el cociente entre los índices de refracción, con esto quiero decir,  $n = n_2/n_1$

Por otro lado, se tiene que recordar que una sustancia cualquiera, tiende a variar su longitud de onda, por este motivo, es que la polarización también deberá de ser entendida como una función determinada por la longitud de onda.

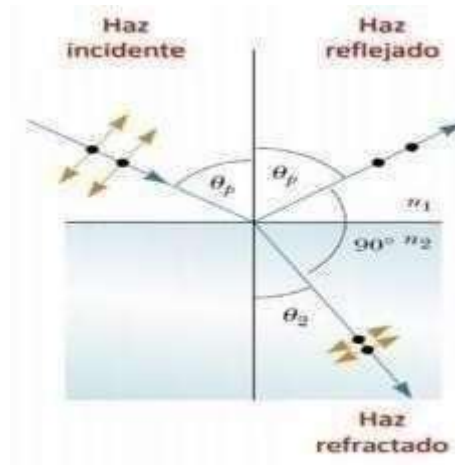


Figura 15 Polarización por reflexión

Fuente: Google Photos

La polarización por doble refracción, señala que, la mayoría de los sólidos, se caracteriza por contar con diferentes propiedades de tipo físicas, alrededor de todas las direcciones. La birrefringencia en ciertos cristales, se encuentra determinado por diferentes condiciones, en donde la anisotropía cristalina, expone el hecho de que un solo rayo, permita que se incida en los rayos refractados, siendo estos, el ordinario y el extraordinario, en donde la calcita llega a ser considerado como un material que cuenta con características de birrefringencia (Smith et al., 2019).

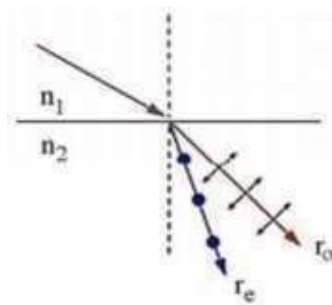


Figura 16 Polarización por doble refracción

Fuente: Google Photos

Los rayos, contienen las siguientes propiedades: llega a cumplir con la ley de Snell, en base al rayo ordinario ( $r_o$ ), no se cumple con la ley Snell, contando con un rayo extraordinario ( $r_s$ ); y ambos rayos tienen direcciones existentes, perpendiculares, contando con velocidades diferentes de propagación ( $n_o \neq n_e$ ).

Así mismo, en la actualidad existe el polaroide, en donde este material, tiende a estar representado por láminas delgadas de hidrocarburos en cadenas largas, en donde la fabricación de estas, corresponde a ser estiradas de forma molecular, en cuanto a cadenas largas, en donde la inmersión dentro de una solución, contiene ioduros en cuanto a moléculas que se transforman en adecuados conductores, centrándose de forma principal, a lo largo de la serie de hidrocarburos. En efecto, absorben la luz en dicha dirección y permite el paso de aquella que transita en forma perpendicular a su longitud (Tong et al., 2020).

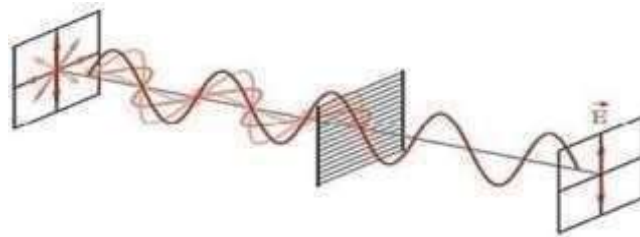
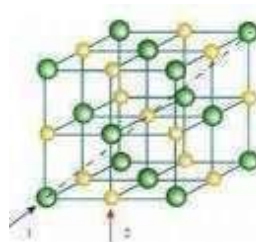


Figura 17 Polarización por absorción selectiva

Fuente: Google Photos

Por otro lado, los cristales de sulfato de iodo quinina, cuentan con anisotropía cristalina, en donde las propiedades ópticas llegan a contar con diferentes dependencias, en cuanto a la dirección de propagación relativa a sus ejes cristalográficos.

Figura 18 Anisotropía cristalina



Fuente: Google Photos

Cuando se habla acerca del fenómeno dicroísmo, en donde los cristales de luz selectiva, están en función de la dirección del vector intensidad del campo eléctrico, respecto a los ejes.

La luz natural suele caracterizarse por ser de tipo no polarizada, en donde la realización del proceso de polarización lineal, corresponde a ser realizado por medio de un polarizador. En primer lugar, se deberá de colocar otro polarizador, en donde después del primero, setiene que girar el segundo, con la finalidad de obtener el ángulo de  $\theta$ ) entre los ejes de dichos polarizadores. Finalmente, la intensidad que vamos a obtener tiene uncomportamiento como (Tong et al., 2020):

$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \theta$$

Por otro lado, se podrá calcular el porcentaje de polarización, recurriendo al uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Polarización} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} \times 100\%$$

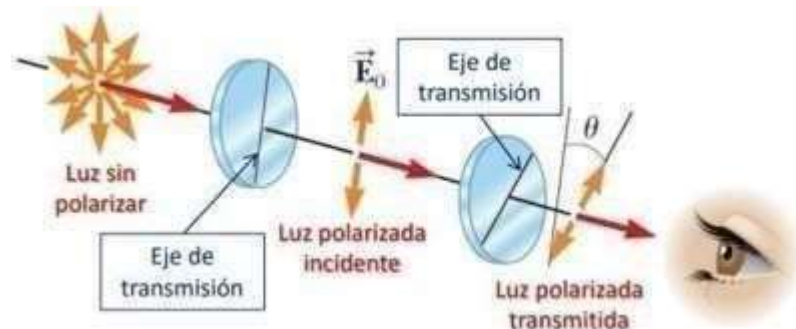


Figura 19 Ley de Malus

Fuente: Google Photos

Tomando como referencia, a la medición de la polarización, se tiene que mantener la descripción del campo eléctrico, en base a dos componentes perpendiculares, tomando en consideración, la existencia del **vector jones**, en donde se tiene que mantener información, respecto a la amplitud y la fase de ondas, razón por la que se puede llegara representar la polarización. Así mismo, se tiene que encontrar diferentes cantidades, tanto reales como imaginarias, en miras de poder establecer la presencia de la exponencial imaginaria.

Empezamos representando a una onda plana de forma compleja:

$$\mathbf{E}_x(\mathbf{z}, t) = \mathbf{E}_{0x} e^{i(\omega t - \mathbf{kz} + \phi_x)}$$

$$\mathbf{E}_y(\mathbf{z}, t) = \mathbf{E}_{0y} e^{i(\omega t - \mathbf{kz} + \phi_y)}$$

A continuación, anulamos el propagador  $(\omega t - \mathbf{kz})$ :

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_{0x} e^{i\phi_x}$$

$$\mathbf{E}_y = \mathbf{E}_{0y} e^{i\phi_y}$$

Para poder obtener la forma vectorial de la luz polarizada, escribiremos las ecuaciones anteriores como un vector cartesiano:

$$\mathbf{E} = E_x \hat{i} + E_y \hat{j}$$

Dicha ecuación también podemos representarla como un vector columna:

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{0x} e^{i\phi_x} \\ E_{0y} e^{i\phi_y} \end{pmatrix}$$

Finalmente, este resultado de ecuación se le conoce como vector de Jones y representa a un haz polarizado elípticamente.

El **vector Stokes**, consiste en cuatro cantidades; también conocidas como parámetros de Stokes, las cuales describen la intensidad y la polarización de un haz de luz. Estos parámetros tienen dimensiones de intensidad y cada uno compete a la intensidad promedio en el tiempo, además el último es el factor indispensable para que dichas mediciones experimentales sean exactas con un mínimo error (Kitagawa et al., 2020).

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2$$

Para poder obtener dicha ecuación, consideramos la onda plana descrita por las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{E}_x(\mathbf{z}, t) = \mathbf{E}_{0x}(t) \cos(\omega t - \mathbf{kz} + \phi_x(t))$$

$$\mathbf{E}_y(\mathbf{z}, t) = \mathbf{E}_{0y}(t) \cos(\omega t - \mathbf{kz} + \phi_y(t))$$

Dichas ecuaciones son ortogonales en cualquier punto del espacio y no precisamente son monocromáticas. Para analizar el comportamiento del campo óptico a través del

tiempo en un punto fijo, hacemos que  $z = 0$ , las cuales vamos a obtener nuevas ecuaciones:

$$E_x(t) = E_{ox}(t) \cos(mt + \delta x(t))$$

$$E_y(t) = E_{oy}(t) \cos(mt + \delta y(t))$$

Donde:

- Amplitudes instantáneas: “ $E_{ox}(t)$  y  $E_{oy}(t)$ ”
- Frecuencia angular instantánea: “ $m$ ”
- Fases instantáneas: “ $\delta x(t)$  y  $\delta y(t)$ ”

Ahora tomaremos un instante de tiempo ( $t = t_0$ ) y con un poco de álgebra, obtenemos una ecuación sin el término “ $\omega t$ ”:

$$\frac{E_x^2(t_0)}{E_{ox}^2(t_0)} + \frac{E_y^2(t_0)}{E_{oy}^2(t_0)} - 2 \frac{E_x(t_0) E_y(t_0)}{E_{ox}(t_0) E_{oy}(t_0)} \cos(\delta x(t_0) - \delta y(t_0)) = \sin^2(\delta x(t_0) - \delta y(t_0))$$

Para el caso de radiación monocromática, las amplitudes y fases son constantes en cualquier instante ( $t$ ):

$$\frac{E_x^2(t)}{E_{ox}^2(t)} + \frac{E_y^2(t)}{E_{oy}^2(t)} - 2 \frac{E_x(t) E_y(t)}{E_{ox}(t) E_{oy}(t)} \cos(\delta x(t) - \delta y(t)) = \sin^2(\delta x(t) - \delta y(t))$$

Donde  $E_x(t)$  y  $E_y(t)$  siguen siendo funciones del tiempo. En vista de la prioridad de  $E_x(t)$  y  $E_y(t)$  solo se necesitará el promedio en un periodo  $T$ :

$$\frac{\langle E_x^2(t) \rangle}{E_{ox}^2} + \frac{\langle E_y^2(t) \rangle}{E_{oy}^2} - 2 \frac{\langle E_x(t) E_y(t) \rangle}{E_{ox} E_{oy}} \cos(\delta x - \delta y) = \sin^2(\delta x - \delta y)$$

Así pues:

- $\langle E_x^2(t) \rangle = \frac{1}{2} E_{ox}^2$
- $\langle E_y^2(t) \rangle = \frac{1}{2} E_{oy}^2$
- $\langle E_x(t) E_y(t) \rangle = \frac{1}{2} E_{ox} E_{oy} \cos^2(\delta x - \delta y)$



Ahora a la última ecuación 2.17, le multiplicaremos por  $[2E_{ox}(t)E_{oy}(t)]^2$ :

$$2E_{ox}^2E_{oy}^2 + 2E_{ox}^2E_{oy}^2 - (2E_{ox}E_{oy}\cos\phi(t))^2 = (2E_{ox}E_{oy}\sin\phi(t))^2$$

Sumamos y restamos:  $E_{ox}^4 + E_{oy}^4$

$$(E_{ox}^2 + E_{oy}^2)^2 - (E_{ox}^2 - E_{oy}^2)^2 - (2E_{ox}E_{oy}\cos\phi(t))^2 = (2E_{ox}E_{oy}\sin\phi(t))^2$$

Finalmente llegamos a la ecuación del vector de Stokes:

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2$$

Por lo tanto, representaremos los parámetros:

➤ Primer Parámetro ( $S_0$ ):

Es la intensidad total del haz de luz.

$$S_0 = E_{ox}^2 + E_{oy}^2$$

➤ Segundo Parámetro ( $S_1$ ):

Describe la cantidad de luz polarizada linealmente tanto horizontal ( $S_1 > 0$ ) o vertical ( $S_1 < 0$ ).

$$S_1 = E_{ox}^2 - E_{oy}^2$$

➤ Tercer Parámetro ( $S_2$ ):

Describe la cantidad de luz polarizada linealmente a  $+45^\circ$  ( $S_2 > 0$ ) o  $-45^\circ$  ( $S_2 < 0$ ).

$$S_2 = 2E_{ox}E_{oy}\cos\phi(t)$$

➤ Cuarto Parámetro ( $S_3$ ):

Describe la cantidad de luz circularmente polarizada tanto a la derecha ( $S_3 > 0$ ) o izquierda ( $S_3 < 0$ ) contenida en el haz.

$$S_3 = 2E_{ox}E_{oy}\sin\phi(t)$$

Debido a la forma del vector de Stokes cada una de las componentes se puede acoplar de la siguiente forma:

$$S_0 = 2 I_0$$

$$S_1 = 2 I_1 - 2 I_0$$

$$S_2 = 2 I_2 - 2 I_0$$

$$S_3 = 2 I_3 - 2 I_0$$

Este vector abarca la información acerca de la luz, tanto su parte polarizada como la no polarizada.

$$\mathbf{S} = S_{\text{Polarizada}} + S_{\text{No Polarizada}}$$

Donde:

$$S_{\text{polarizada}} = \begin{bmatrix} \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2} \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad \vee \quad S_{\text{no polarizada}} = \begin{bmatrix} S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Llegamos a la conclusión que la luz puede encontrarse o no totalmente polarizada tanto al chocar en un medio después de que se ha extendido a través de él; por lo que resulta apropiado definir qué tan polarizada se encuentra la luz en un momento determinado dados sus parámetros de Stokes, los cuales contienen información acerca de su polarización, por lo tanto, surge el concepto de grado de polarización.

$$\text{DoP} = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}$$

Para obtener luz totalmente polarizada el DoP vale 1 y para luz natural el DoP vale 0.

# CAPÍTULO I:

## MÉTODOS Y MATERIALES

### 1.1. Diseño de contrastación de hipótesis

De forma inicial, será realizada una revisión bibliográfica respecto a los conceptos de fotoelasticidad, relacionados con la óptica la luz, la refracción o la mecánica de medios continuos. Estos conceptos, tienden a ser necesarios, para poder comprender los diferentes métodos de fotoelasticidad existentes y analizar cada uno de los modelos propuestos.

Así mismo, para la elaboración de los modelos, es que se ha requerido de que los materiales empleados, estén hechos de material base foto elástico, del cual se dispone en las instalaciones del laboratorio de física. Este material tiende a ser muy costoso y cualquier tipo de esfuerzo de tipo accidental durante la geometrización, puede llegar a generar un esfuerzo residual irreversible, en donde el modelo puede llegar a ser inutilizable para el análisis. Por ello, es que el modelo deberá de ser realizado con otro material que tienda a ser más manejable, para después copiar dicha geometría, hacia el material foto elástico.

Para el proceso de geometrización del modelo, se tiene que tomar en cuenta, a equipos como: fresa, el router o herramientas como las pinzas, la cinta de doble capa, el tornillo de prensa, el vernier, entre otros, dependiendo de la geometría que se espere alcanzar. Para después del proceso de fabricación del equipo, es que se ha procedido a su análisis, en donde el cálculo ha sido explicado de forma detallada y concisa, siendo comparado los resultados, mediante los elementos finitos.

### 1.2. Población, muestra y muestreo

**Población:** La población se ha conformado por toda la información relacionada con la rama de la física óptica, y los datos que han sido usados para la construcción de una pieza sometida a esfuerzo.

**Muestra:** La muestra ha estado conformada por todos los materiales necesarios para la construcción del equipo.

**Muestreo:** El muestreo ha sido el intencional o por conveniencia, en donde el mismo autor se ha basado en criterios técnicos, para la selección de la muestra.

### **1.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**Técnica:** Para la construcción del equipo para medir los esfuerzos, ha sido necesario el uso de la técnica de diseño experimental, la cual consiste en la manufacturación y el empleo de los diversos tipos de procesos de maquinado (planos, impresión 3D, cortes, etc.)

**Instrumentos:** Hoja de cálculo, computadora y calculadora.

**Materiales:** Ficha de recolección de datos, Película polarizadora lineal - Tipo grueso, Alto contraste, Película de retardador de 1/4 de onda (retardo a 140 nm Type Tipo de hoja), Discos en IMPRESIÓN 3D, Acrílica de 9.53mm 1.25 x1.85 Cristal, Corte del Acrílico Manual 50cm X 39cm, Balanza de celda, Base.

### **1.4. Método de procesamiento de la información**

El método empleado ha sido el analítico, en donde se ha recurrido al análisis profundo de la información; así como, la evaluación de los diferentes resultados, en base a la interpretación y explicación del motivo por el que los resultados han sido obtenidos, pudiendo explicar el comportamiento de los fenómenos físicos vivenciados y el porcentaje de error de la máquina construida.

### **1.5. Principios éticos**

En cuanto a los principios éticos, se puede señalar el hecho de establecer el no plagio del documento, el correcto citado de la totalidad de las fuentes a las que se ha incurrido; así como, la no manipulación de la información, en donde todos los hallazgos han sido considerados de forma inequívoca y con un correcto criterio científico, en donde todos pueden ser totalmente comprobables.

## **CAPÍTULO II:**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **2.1. Resultados**

##### **2.1.1. Descripción del equipo**

La facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas no cuenta con el laboratorio de fotoelasticidad, esta es una de las razones de la implementación este proyecto, que tiene como objetivo poner en marcha uno de los dispositivos necesarios para el diseño y construcción de un polariscopio y así poder realizar las pruebas necesarias para dicho estudio.

El polariscopio, es considerado como un equipo de carácter didáctico, el cual ha contado con la capacidad de realizar pruebas de modelos bidimensionales, en donde el diseño que ha caracterizado al mismo, ha permitido ventajas comerciales y algunas carencias, pudiendo señalar a las siguientes:

- El funcionamiento y manipulación del equipo es sencillo, debido que tiene controles reducidos y precisos. En otras palabras, el error que se obtiene en los resultados es mínimo.
- Observar cómodamente la imagen que es proyectada por el modelo, con la finalidad de evidenciar fotografías, mediante una cámara que tiene que ser colocada sobre el recurso.
- La configuración geométrica le permite realizar pruebas en diferentes tipos de muestra y someterlas a diferentes tipos de cargas y esfuerzos.
- La ubicación y la distribución de los diferentes filtros polarizadores, están relacionado directamente con los grados de libertad del elemento.
- Uno de los inconvenientes, es la fragilidad de este dispositivo.
- Además de ello, es que el montaje tiende a variar, a consecuencia de las diferentes solicitaciones de carga.

##### **2.1.2. Componentes del equipo**

Un polariscopio es un dispositivo con componentes diferentes, cada uno realiza una función específica para que realice un buen funcionamiento, estos componentes

forman todo el sistema.



Figura 20 Polarizador

Fuente: Elaboración propia

El polarizador consta esencialmente de los siguientes componentes:

**a) Porta filtro**

El porta filtro, permite que se considere la capacidad de colocar los filtros dobles, el cual cuentan con un diámetro de 25 cm y se caracteriza por evidenciar un acrílico de 0.45 mm, contando con características estructurales, correspondientes a la norma ASTM A 36, viéndose complementado por tres guías de aluminio, el cual permite el girado libre, para la posterior de los ensayos.



Figura 21 Analizador

Fuente: Elaboración propia

#### **b) Marco de carga:**

Este componente está diseñado para someter a las probetas a compresión , flexión y tensión las cuales producirán varios tipos de esfuerzo. Para esto necesitamos diversos accesorios y complementos.

Para poder realizar los ensayos, es que se tiene que fijar adecuadamente la probeta, mediante una palanca, sobre la que se aplica la carga de forma manual, en donde las tensiones podrán ser evidenciadas a simple vista. Así mismo, toda la estructura se encuentra conformada por acero inoxidable.



Figura 22 Marco de carga

Fuente: Elaboración propia

### **2.1.3. Diseño del polariscopio**

En base a lo señalado, es que se puede establecer el siguiente registro, tomando como referencia a normativa vigente y parámetro expuestos:

#### **a) Porta filtro**

En este caso tenemos las siguientes partes:

- Placa porta filtro (Acrílico)
- 4 ángulos de soporte.
- 6 rodamientos
- 4 tornillos M8 – 1.25 x 4
- 3 tornillos M4.5 – 0.75 x 4
- 4 rosca M8 – 1.25
- 3 rosca M4.5 – 0.75
- 1 filtro polarizador





Figura 23 Porta filtro

Fuente: Elaboración propia

#### **b) Marco de carga**

El marco de carga, se encuentra conformado por condiciones estáticas y no se considera la incidencia de fatiga, debido a que la carga máxima de una persona, llega a ser de 40 kgf, con su brazo, tomando en cuenta la longitud de palanca, con un longitud de 35.13 cm (Figura 24):

$$T = F \cdot r$$

$$T = (40 \text{ Kgf})(35,13 \text{ cm})$$

$$T = (395.6 \text{ N})(0,3513 \text{ m})$$

$$T = 138,97 \text{ N}$$



Figura 24 Marco de carga

Fuente: Elaboración propia



Figura 25 Polariscopio construido

Fuente: Elaboración propia



Figura 26 Polariscopio construido

Fuente: Elaboración propia

#### **2.1.4. Preparación de las probetas**

Como materiales de fabricación de las probetas, se han considerado a la resina poliéster, acrílico, resinas Epóxicas y policarbonato, habiendo establecido el uso de la resina epóxica, siendo de la marca SIKAFLOOR – 264.

##### **a) Probetas de resina Epóxica**

Las propiedades básicas de la resina Epóxica se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1

*Propiedades de la resina epóxica SIKAFLOOR - 264*

Densidad	Parte A	~ 1,7 kg/l	(DIN EN ISO 2811-1)
	Parte B	~ 1,06 kg/l	
	Mezcla (AB)	~ 1,51 kg/l	
	Tomada a +23 °C.		
Contenido de Sólidos en Peso		~100 %	
Contenido de Sólidos en Volumen		~100 %	
INFORMACIÓN TÉCNICA			
Dureza Shore D	~76 (7 días / +23 °C)		(DIN 53 505)
Resistencia a la Abrasión	~35 mg (CS 10/1000/1000) (7 días / +23 °C)		(DIN 53109)
Resistencia a la Compresión	~53 N/mm <sup>2</sup> (Con mezcla de agregados 1:0.9) (28 días / +23 °C)		(EN196-1)
Resistencia a Flexión	~20 N/mm <sup>2</sup> (Con agregados 1:0.9) (28 día / +23 °C)		(EN 196-1)
Resistencia a la Adherencia	>1,5 N/mm <sup>2</sup> (falla en concreto)		(ISO 4624)
Resistencia Química	Contacte a su asesor tecnico para la tabla de resistencia química		
Resistencia Térmica	Exposición	Calor Seco	
	Permanente	+50 °C	
	Intervalos max. 7 d	+60 °C	
	Intervalo max. 12 h	+70 °C	
Estas temperatura no contemplan el uso de sustancias corrosivas o exposi- cion química simultanea			

Fuente: Fabricante

Las probetas que se elaborarán serán de acuerdo a la norma ASTM D 638 para polímeros (Anexo 1)

Para el presente caso, se ha contado con unas láminas de 5 mm, en donde se ha contado con un molde con un vidrio de 24 cm \* 32 cm y que se ha caracterizado por contar con cuatro tiras de madera, conformado por una caja.



Figura 27 molde para la elaboración de láminas de resina epóxica

Fuente: Elaboración propia

Se añade en un recipiente suficientemente grande, procurando revolver después de añadir toda la resina. Se debe tener cuidado de no verter todo el volumen en un solo sitio.

Figura 28 Preparación de la resina epóxica



Fuente: Elaboración propia

Luego se vierte la mezcla en el molde como se muestra la figura siguiente:

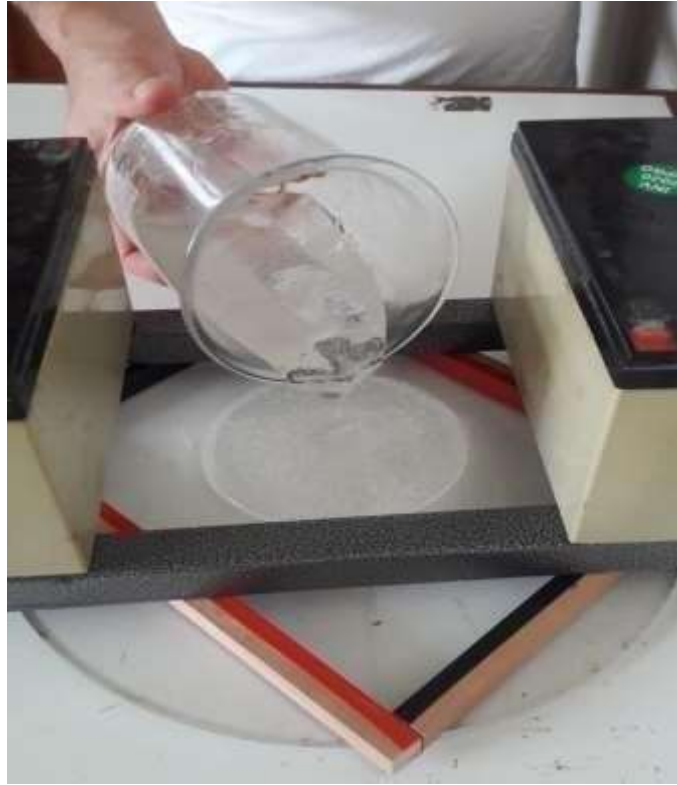


Figura 29 Preparación de la resina epóxica

Fuente: Elaboración propia

El secado depende de la temperatura ambiente con la que se cuente, en donde se tiene que mantener como mínimo, un tiempo de secado de 4 días.

#### **2.1.5. Elaboración de modelos**

Actualmente el proceso más recomendado es el corte por láser, porque el tamaño de la muestra se puede determinar con mucha precisión, es muy rápido y no tiene cuenta con limitaciones de diseño. Para el caso de las probetas, se ha contado con la incorporación de modelos, los cuales son expuestos, a continuación:

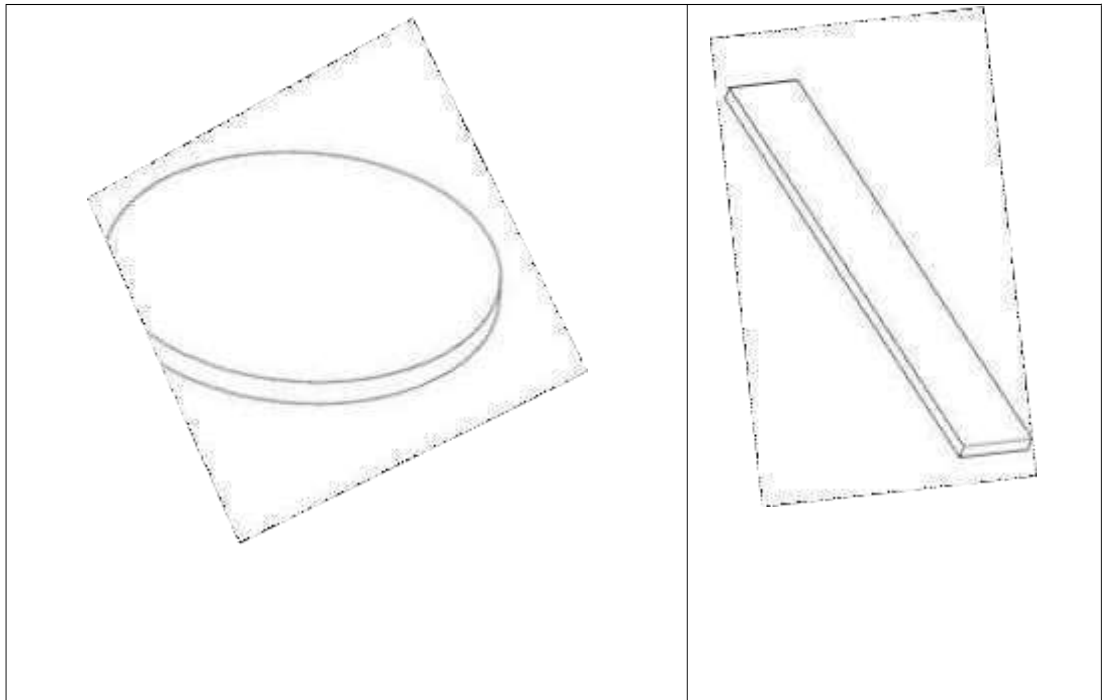


Figura 30 Distribución de las probetas sobre la plancha

Fuente: Elaboración propia

Estos modelos se cortaron por láser

#### a) Probeta circular

La Probeta puede soportar cargas de compresión, de acuerdo al análisis de la bibliografía profesional de la distribución del esfuerzo, es especialmente importante por ser bastante irregular.

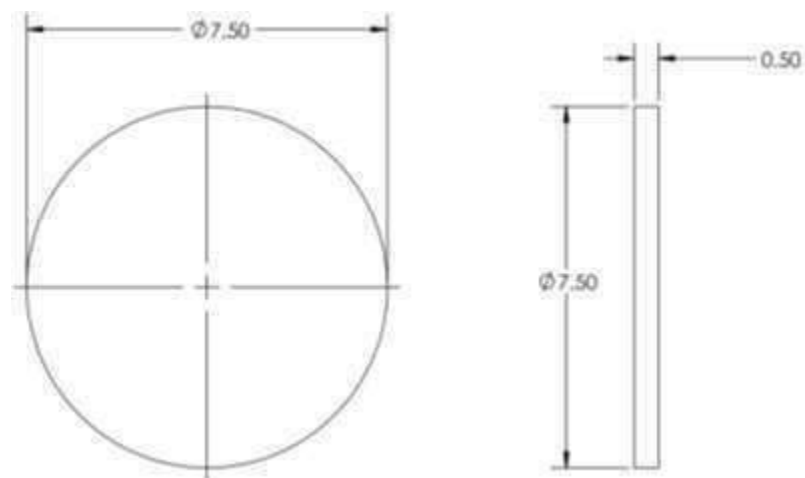


Figura 31 Probeta circular

Fuente: Elaboración propia

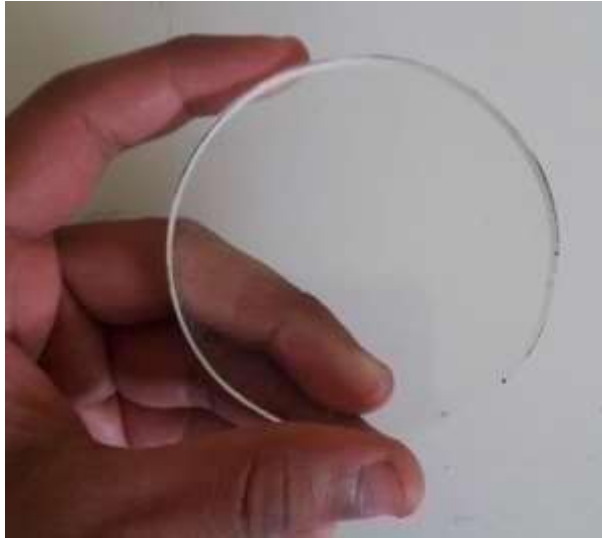


Figura 32 Probeta circular

Fuente: Elaboración propia

### b) Probeta rectangular

La configuración de este modelo, permite la evaluación de esfuerzos de flexión.

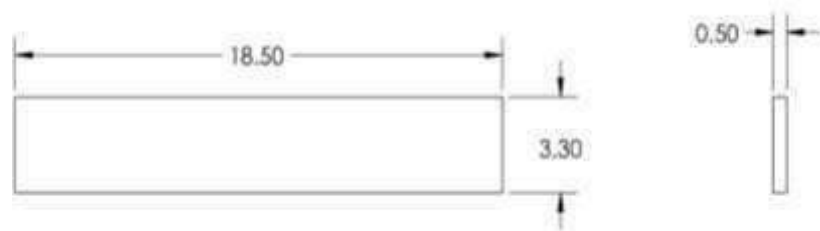


Figura 33 Probeta circular

Fuente: Elaboración propia



Figura 34 Probeta circular

Fuente: Elaboración propia

## 2.1.6. Experimentación

### 2.1.6.1. Calibración de la probeta



La finalidad que tiene la calibración, es la necesidad de conocer el valor de C, contando con la siguiente ecuación de representación del esfuerzo axial.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{CN}{b}$$

Despejando la constante fotoelástica del material se tiene:

$$C = \frac{b(\sigma_1 - \sigma_2)}{N}$$

Dónde:

b: espesor del material.

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$ : esfuerzos principales en los dos planos.

N: orden de franja.

En el ensayo de tensión los esfuerzos principales son:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{a.b}$$

$$\sigma_2 = 0$$

Por lo tanto:

$$C = \frac{b \left( \frac{F}{a.b} \right)}{N}$$

$$C = \frac{F}{a.N}$$

Con la finalidad de contar con el valor de la fuerza, es que se tiene que proceder dentro del marco de montaje de carga. Luego con la palanca vamos ajustando lentamente para cargas pequeñas, ya que tenemos la balanza adaptada con un sensor al equipo para ver las cargas respectivamente.



Figura 35 Balanza (Capacidad = 150 kg)

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se tiene que observar el color, en cuanto se va aplicando la carga, tomando en cuenta el orden de los valores de franja, que se ubican en la tabla posterior y contando con una traducción de la normativa ASTM D 4093 - 95

Tabla 2

*Secuencia de colores producidos con luz blanca en campo oscuro*

Color	Retraso, nm	Orden de franja
Negro	0	0
Gris	160	0.28
Blanco	260	0.45
Amarillo	350	0.60
Naranja	460	0.79
Rojo	520	0.90
1° franja de paso	577	1.00
Azul	620	1.06
Azul - verde	700	1.20
Verde - Amarillo	800	1.38
Naranja	940	1.62
Rojo	1050	1.81
2° franja de paso	1150	2.0
Verde	1350	2.33
Verde - Amarillo	1450	2.50
Rosa	1550	2.67
3° franja de paso	1730	3.0
Verde	1800	3.10
Rosa	2100	3.60
4° franja de paso	2300	4.00
Verde	2400	4.13

Fuente: Normas ASTM D 4093 – 95

En la siguiente se observa que cuando la carga aplicada en una probeta circular de resina epóxica es de 39 Kgf el color es verde – amarillo (N = 1,38).

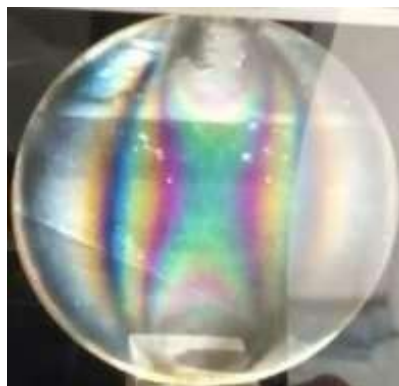


Figura 36 Dato tomado con una carga de 39 Kgf

Fuente: Elaboración propia

Sustituyendo los datos en la ecuación siguiente, se obtiene:

$$C = \frac{39 \text{ Kgf}}{(5 \text{ mm})(1,38)}$$

$$C = \frac{382.2 \text{ N}}{(0,005 \text{ m})(1,38 \text{ Orden de franja})}$$

$$C = 55391,30 \frac{\text{N}}{(\text{Orden de franja})}$$

En la tabla siguiente, se exponen diferentes valores de orden de franja, contando con la siguiente escala de colores.

Tabla 3

*Datos de compresión (Probeta circular)*

F (carga) [Kgf] [N]	Color	N (Orden de franja) [Orden]	C (Valor de franja) [N/ (m. orden)]
15 (147)	Amarillo	0.60	49000

21 (205.8)	Naranja	0.79	52101,26
------------	---------	------	----------

30 (294)	Azul	1.06	55471,69
39 (382.2)	Verde - Amarillo	1.38	55391,30
47 (460.6)	Naranja	1.62	54864,19
52 (509.6)	Rojo	1.81	56309.39

Fuente: Elaboración propia

Para determinar los esfuerzos se tomaron las probetas de espesor 5mm y fueron sometidas a una carga de compresión de 39Kgf (382,2 N) como se muestra en la Figura 33, obteniéndose cada esfuerzo realizado para cada carga sometida.

Mediante la ecuación siguiente, se determina el esfuerzo sometido por cada carga.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{CN}{b}$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{(55391,30)(1,38) N}{0,005 \quad m^2} = 15,28 MPa$$

Los datos correspondientes a cada carga se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 4

*Esfuerzo calculado en el borde de la probeta de 5 mm de espesor*

Espesor(mm)	Orden de franja	$\sigma$ MPa
5 (15 Kgf)	0.60	5.88
5 (21 Kgf)	0.79	8.23

5 (30 Kgf)	1.06	11.75
5 (39 Kgf)	1.38	15.28
5 (47 Kgf)	1.62	18.42
5 ( 52 Kgf)	1.81	20.38

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se observa que cuando la carga aplicada en una probeta rectangular de resina epóxica es de 25 Kgf el color es azul (N = 1.06).



Figura 37 Dato tomado con una carga de 25 Kgf

Fuente: Elaboración propia

Sustituyendo los datos en la ecuación siguiente, se obtiene:

$$C = \frac{25\text{Kgf}}{(5 \text{ mm})(0,79)}$$

$$C = \frac{245 \text{ N}}{(0,005 \text{ m})(1,06 \text{ Orden de franja })}$$

$$C = 46226,41 \frac{\text{N}}{(\text{Orden de franja })}$$

En la tabla siguiente, se exponen diferentes valores de orden de franja, contando con la siguiente escala de colores.

Tabla 5

*Datos de compresión (Probeta rectangular)*

F (carga)	Color	N (Orden de franja)	C (Valor de franja)
[Kgf] [N]	-		[N/ (m. orden)]



		[Orden]	
14 (137,2)	Amarillo	0.60	45733,33
18 (176,4)	Naranja	0.79	44658,22
23 (225,4)	Azul	1.06	42528.30
28 (303,8)	Verde - Amarillo	1.38	39768,11
32 (313,6)	Naranja	1.62	38716,04
36 (352,8)	Rojo	1.81	38983,42

Fuente: Elaboración propia

Para determinar los esfuerzos se tomaron la probeta rectangular de espesor 5mm y fueron sometidas a una carga de compresión de 23 Kgf (225,4 N) como se muestra en la Figura 34, obteniéndose cada esfuerzo realizado para cada carga sometida.

Mediante la ecuación siguiente, se determina el esfuerzo sometido por cada carga.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{CN}{b}$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{(42528,30)(1.06) \text{ N}}{0,005 \text{ m}^2} = 9.01 \text{ MPa}$$

Los datos correspondientes a cada carga se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 6

*Esfuerzo calculado en el borde de la probeta rectangular de 5 mm de espesor*

Espesor(mm)	Orden de franja	$\sigma$ MPa
5 (14 Kgf)	0.60	5.48
5 (18 Kgf)	0.79	7.05
5 (23 Kgf)	1.06	9.01
5 (28 Kgf)	1.38	10.97
5 (32 Kgf)	1.62	12.54
5 (36 Kgf)	1.81	14,11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

*Porcentaje de error al comparar los métodos de elementos finitos y fotoelástica de la probeta circular*

F (carga) [Kgf] [N]	Elementos Finitos Pa	Fotoelasticidad [Pa]	Error
15 (147)	6,06	5,88	0,02
21 (205.8)	8,49	8,23	0,03
30 (294)	12,13	11,75	0,03
39 (382.2)	15,78	15,28	0,03

47 (460.6)	19,01	18,42	0,03
52 (509.6)	21,03	20,38	0,03

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de error es muy pequeño, y eso lo podemos en las siguientes Figuras:

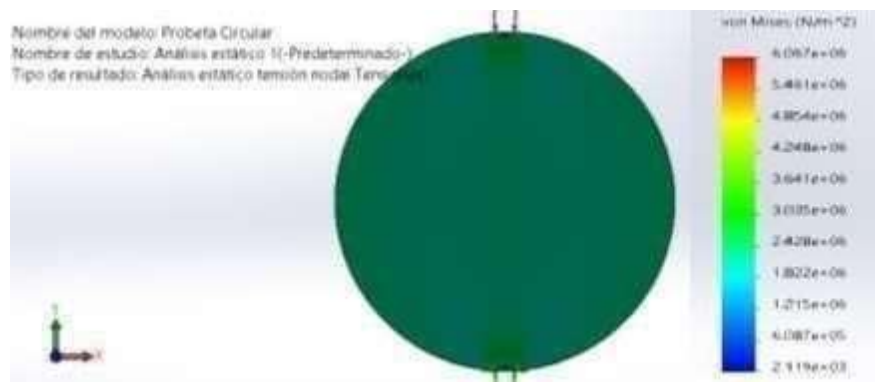


Figura 38 Carga: 15 Kgf (147 N)

Fuente: Elaboración propia

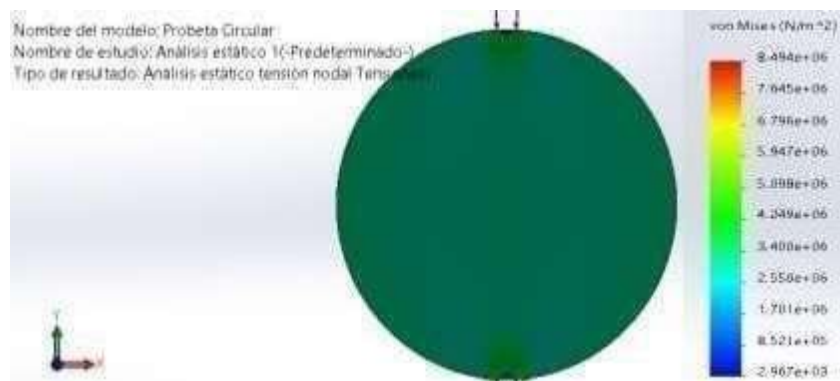


Figura 39 Carga: 21 Kgf (294 N)

Fuente: Elaboración propia

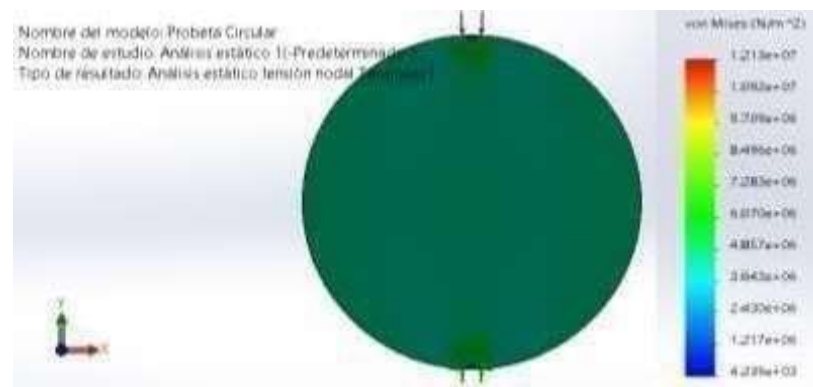


Figura 40 Carga: 30 Kgf (205.8 N)

Fuente: Elaboración propia

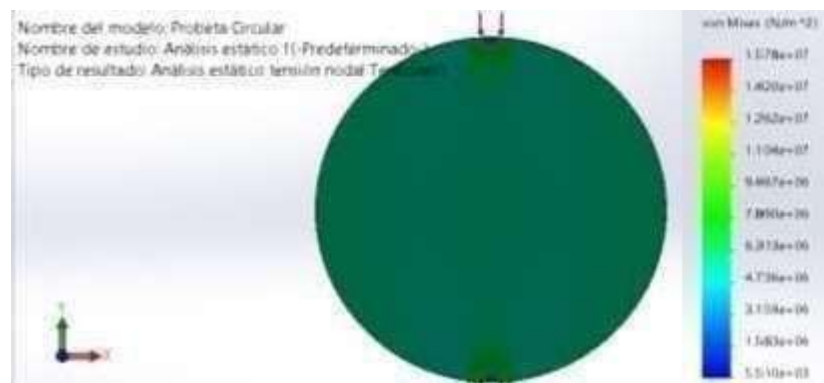


Figura 41 Carga: 39 Kgf (382.20 N)

Fuente: Elaboración propia

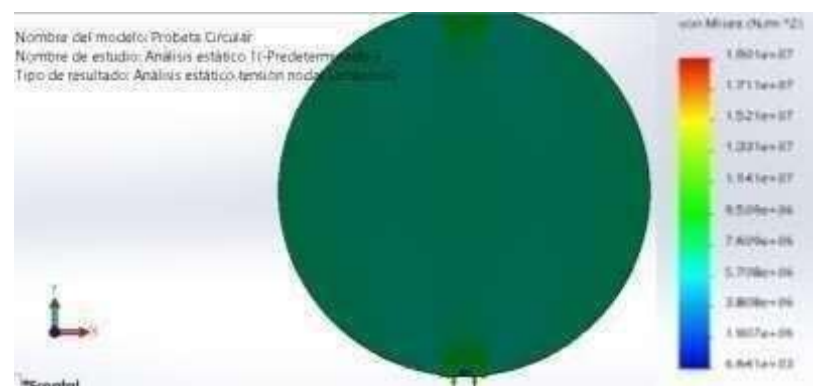


Figura 42 Carga: 47 Kgf (460.60 N)

Fuente: Elaboración propia

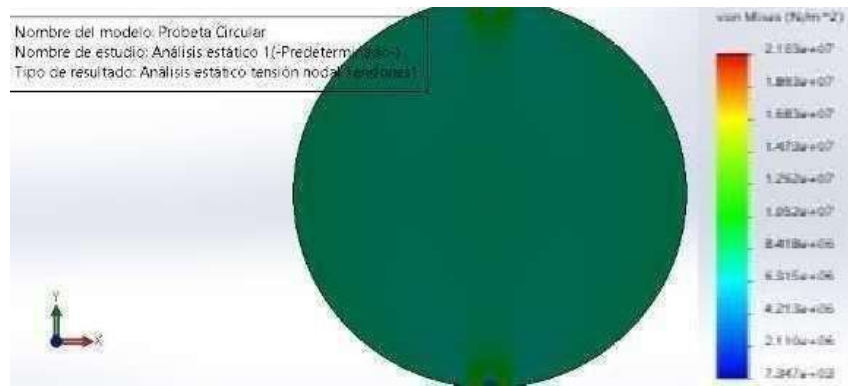


Figura 43 Carga: 52 Kgf (590.60 N)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

*Porcentaje de error al comparar los métodos de elementos finitos y fotoelástica de la probeta rectangular*

F (carga) [Kgf] [N]	Elementos Finitos Pa	Fotoelasticidad [Pa]	Error
14 (137,2)	5,41	5,48	0,01
18 (176,4)	6,77	7,05	0,04
23 (225,4)	8,46	9,01	0,06
28 (303,8)	10,50	10,97	0,04
32 (313,6)	12,87	12,54	.-0,02
36 (352,8)	14,90	14,11	-0,05

--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de error es muy pequeño, y eso lo podemos en las siguientes Figuras:

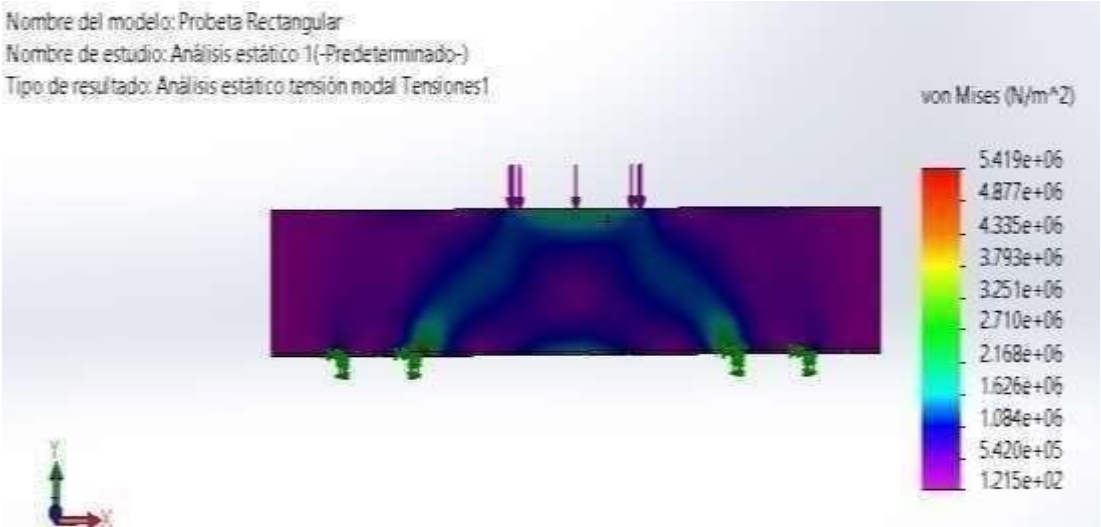


Figura 44 Carga: 14 Kg (137,2 N)

Fuente: Elaboración propia

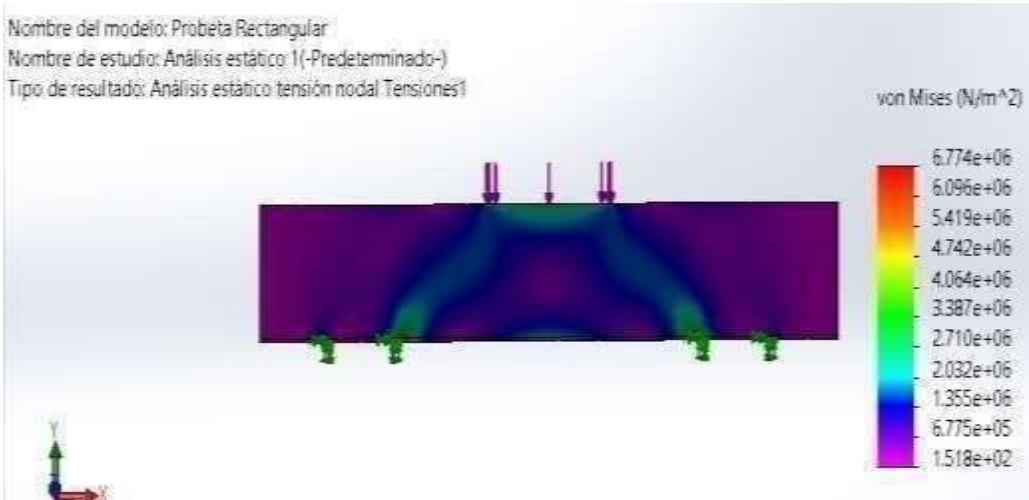


Figura 45 Carga: 18 Kg (176,4 N)

Fuente: Elaboración propia

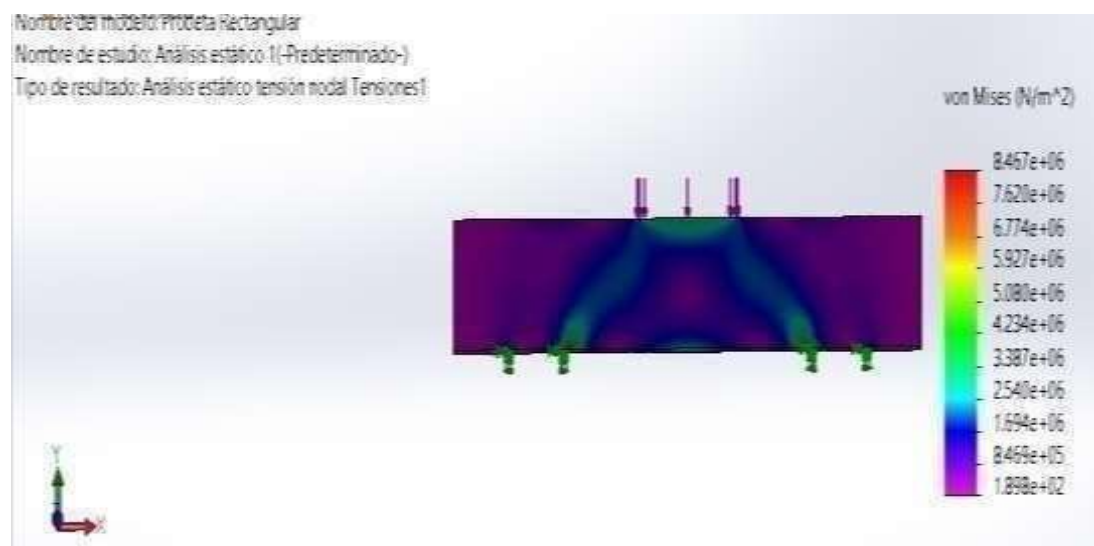


Figura 46 Carga: 23 Kgf (225,4 N)

Fuente: Elaboración propia

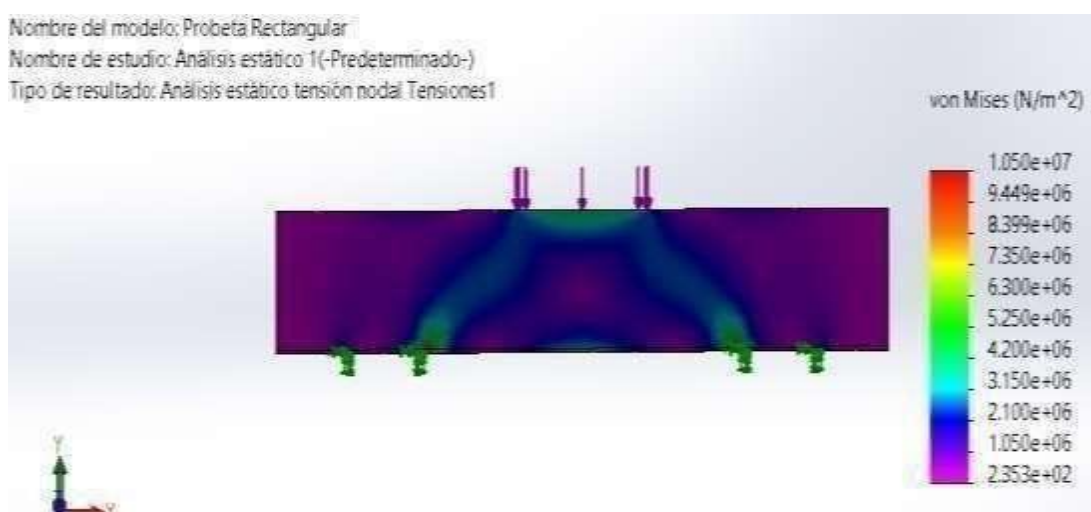


Figura 47 Carga: 28 Kgf (303,8N)

Fuente: Elaboración propia

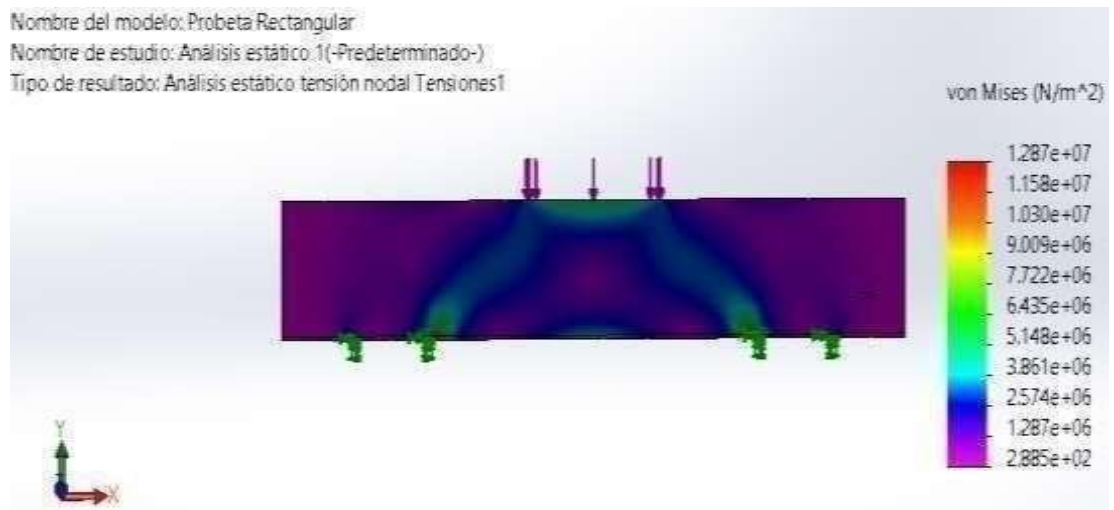


Figura 48 Carga: 32 Kgf (313,6 N)

Fuente: Elaboración propia

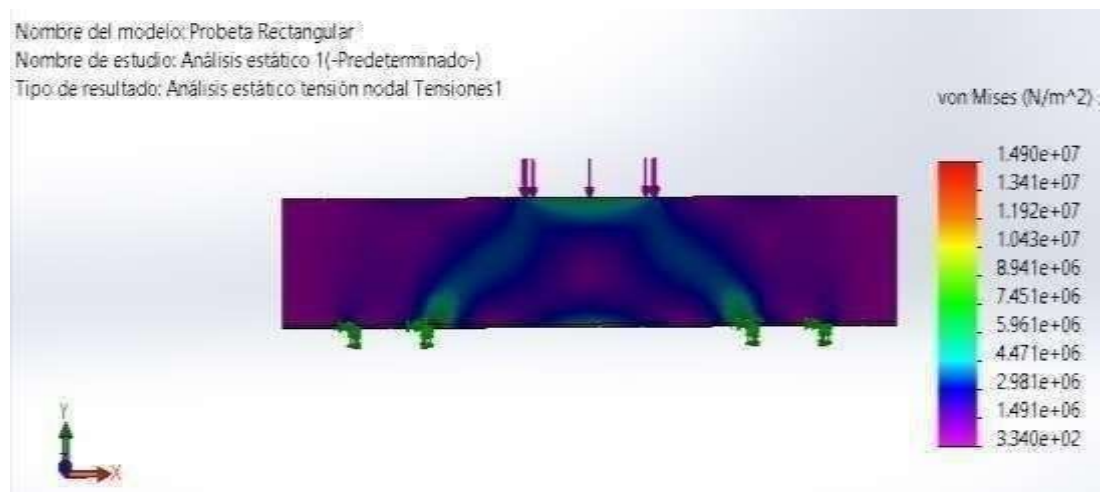


Figura 49 Carga: 36 Kgf (352,8 N)

Fuente: Elaboración propia

Se ha evidenciado que el porcentaje de error ha sido demasiado pequeño, teniendo que evidenciar el análisis estadístico, y el análisis de carga; por ejemplo, para los colores azules, se puede contar con la representación de valor de 39 Kgf.

Tabla 9

*Análisis estadístico de los esfuerzos determinados por la técnica fotoelástica para una carga de 39 Kgf ( $N = 1,38$ )*

$\sigma_1 - \sigma_2$
-----------------------



[Pa]
15,28
15,38
15,15
15,18
15,17
15,48

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Así mismo con los valores obtenidos se determina la desviación estándar, como se muestra en la tabla siguiente

Tabla 10

*Estadísticos descriptivos de los esfuerzos calculados por la técnica fotoelástica*

	n	Desviación típica
<b>N (datos)</b>	6	210713,07

Fuente: Elaboración propia

## DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la demostración se toma la hipótesis nula y la hipótesis alternativa de la siguiente manera:

$H_0$ : Los esfuerzos determinados por la técnica fotoelástica son iguales a los esfuerzos calculados por el método de elementos finitos.

$H_A$ : Los esfuerzos obtenidos por fotoelasticidad son inferiores a los deducidos por el método de elementos finitos.

En forma matemática, para el caso estudiado:

$H_0: \mu = 15280000 \text{ Pa}$

$H_A: \mu < 15280000 \text{ Pa}$

A consecuencia de que la hipótesis nula pueda ser evidenciada, es que se podrá confirmar que la técnica fotoelástica, llega a ser tan capaz de determinar valores de carga, que el método de los elementos finitos, contando con la existencia del rechazo de esta, cuando se cumple lo siguiente:

$$X < \mu_0 - \frac{Z_{1-\alpha} \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$$

Para un nivel de significancia  $\alpha$  de 0.05, la función de probabilidad normal para  $1 - \alpha = 0,95$  es:

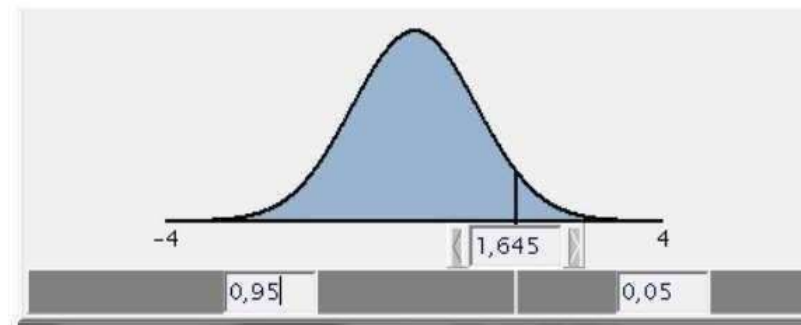


Figura 50 Distribución normal para  $1 - \alpha = 0,95$

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$\mu_0 - \frac{Z_{1-\alpha} \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = 15280000 - \frac{(1,645)(210713,07)}{\sqrt{6}}$$

$$\mu_0 - \frac{Z_{1-\alpha} \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = 15137941,4 \text{ Pa}$$

Como  $X = 15280000 \text{ Pa} > 15137941,4 \text{ Pa}$  se acepta la hipótesis nula.

## 2.2. Discusión

A consecuencia de que el polariscopio fue diseñado para la realización del presente estudio y para la verificación de la hipótesis planteada, es que se podrá contar con la aplicación de estos métodos, dentro del criterio práctico.

## CONCLUSIONES

- La resina epóxica fue el material para este estudio, realizando los ensayos con probetas conformadas con resina epóxica, contando con una mejor sensibilidad, cuando el valor de  $C$ , es menor.
- El uso de la técnica fotoelástica, ha permitido la determinación de esfuerzos, mostrando en evidencia de que el procedimiento es importante, para cualquier resultado experimental.
- El error que fue determinado entre la técnica fotoelástica y la de los elementos finitos, tiende a ser menor al 5%.
- El equipo que fue construido, ha permitido obtener resultados confiables, los cuales han permitido la determinación de esfuerzos por métodos prácticos.
- El esfuerzo mínimo y máximo que mide el equipo es de 5.88 Mpa hasta 25 Mpa.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la fabricación de planchas de resina epóxica, a consecuencia de que estas llegan a ser más resistentes, y tienen que mantener una forma de caja, contando con dos vidrios con espesor uniforme.
- La aplicación de carga deberá de ser lenta, contando con un correcto reconocimiento de colores de la probeta.
- Además de ello, se podrá usar los elementos finitos, considerando concentraciones de esfuerzo, en los lugares de apoyo de componentes, evitando de forma consiguiente, los esfuerzos de empotramiento.
- Al aplicar esfuerzos en planchas más grandes de resina epóxica, se recomienda fijar en que parte de la plancha se va aplicar el esfuerzo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvear, E. y Haro, A. (2016). *Diseño e implementación de un equipo experimental para análisis de esfuerzos mecánicos utilizando la máquina de ensayos MTS, en materiales isotropos, transparentes y continuos mediante el análisis de imágenes fotoelásticas* (Informe de pregrado). Universidad de Las Fuerzas Armadas: Sangolquí. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12079/1/T-ESPE-053347.pdf>
- Bai, R. y Bhattacharya, K. (2020). Photomechanical coupling in photoactive nematic elastomers. *Revista de Cornell University*, 20 (1), 31 – 39. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2002.04000>
- Bernhardt, E. et al. (2018). An apparatus for measuring a material's photomechanical response. *Revista de A brief history of the photomechanical effect*, 86 (14), 57 – 64. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1806.09699.pdf>
- Briñez, J. (2020). *Evaluación del campo de esfuerzos mediante el análisis, descripción y clasificación de la dinámica temporal de secuencias de imágenes de fotoelasticidad* (Informe de pregrado). Universidad Nacional de Colombia: Colombia.
- Cano, C. (2017). *Diseño e implementación de un microscopio de luz polarizada para la medición cuantitativa de propiedades polarimétricas en muestras biológicas* (Informe de posgrado). Universidad EAFIT: Colombia.
- Catalán, J. (2016). *Análisis numérico y experimental de elementos mecánicos mediante la técnica de fotoelasticidad* (Informe de pregrado). Universidad de Jaén: España.
- De la Torre, M. (2017). *Análisis de fractura en ensayos de compresión para materiales compuestos utilizando pruebas ópticas no destructivas* (Informe de pregrado). Centro de Investigación en óptica: México. Recuperado de <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/360/1/17276.pdf>
- Hazarika, P. et al. (2021). Photomechanical response of sulfonylhydrazone molecular crystals. *Revista de CrystEngComm*, 28 (1), 15 – 25. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ce/d1ce00478f#!divAbstra>

[ct](#)

- Ibañez, F. (2017). *Análisis del proceso de fractura en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio corta en condiciones entalladas: aspectos microestructurales y determinación de cargas de rotura mediante métodos tensionales y energéticos* (Informe de pregrado). Universidad de Cantabria: España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/13309/Tesis%20FTIG.pdf?sequence=1>
- Kitagawa, D.; Tsujoka, H.; Tong, F.; Dong, X.; Bardeen, C. y Kobatake, S. (2018). Control of Photomechanical Crystal Twisting by Illumination Direction. *Revista de JACS*, 140 (12) 4208 – 4212. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jacs.7b13605>
- Kitagawa, D; Bardeen, C. y Kobatake, S. (2020). Symmetry Breaking and Photomechanical Behavior of Photochromic Organic Crystals. *Revista de symmetry*, 12 (9), 14 – 78. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/9/1478>
- Kondo, M. (2020) Photomechanical materials driven by photoisomerization or photodimerization. *Revista de Polymer* 52 (1), 1027–1034. <https://doi.org/10.1038/s41428-020-0367-0>
- Lansakara, T., Tong, F., Bardeen, C., y Tivanski, A. (2020). Size Dependent Mechanical Properties and Photomechanical Fatigue of Diarylethene Molecular Crystals Using Atomic Force Microscopy. *Microscopy and Microanalysis*, 26 (S2), 2504- 2505. doi:10.1017/S1431927620021819
- Navarro, C. y Paz, I. (2016). *Optimización en la capacidad de producción de un horno de curvado continuo, para aumentar la productividad en la empresa Agp Perú SAC*. (Informe de pregrado). Universidad Privada del Norte: Lima. Recuperado de [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10881/T055\\_41053748\\_T.pdf?sequence=3](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10881/T055_41053748_T.pdf?sequence=3)
- Resendiz, J. y Palacios, L. (2017). Análisis de deformaciones unitarias en juntas soldadas utilizando correlación digital de imágenes. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 1 (1), 10 – 19. Recuperado de

[https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ingenieria\\_Mecanica/vol1num1/Revista\\_de\\_Ingenieria\\_Mecanica\\_V1\\_N1\\_2.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ingenieria_Mecanica/vol1num1/Revista_de_Ingenieria_Mecanica_V1_N1_2.pdf)

Smith, M.; et al. (2019). Tuned photomechanical switching of laterally constrained arches, *Revista de Smart Materials and Structures*, 28 (19), 102 – 119.

Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-665X/ab1ce4/meta>

Tong, F. et al. (2020). Photomechanical molecular crystals and nanowire assemblies based on the [2+2] photodimerization of a phenylbutadiene derivative. *Revista de Materials Chemistry C*, 15 (1), 111 – 124. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/tc/c9tc06946a#!divAbstract>

Vásquez, J. (2019). *Caracterización de grietas de fatiga mediante difracción de rayos X sincrotrón* (Informe de pregrado). Universidad de Málaga: Málaga.

Recuperado de [https://www.uma.es/doctorado-imee/navegador\\_de\\_ficheros/REPOSITORIO-PD-IMEE/descargar/thesis\\_Javier\\_Vazquez\\_Peralta\\_v3.pdf](https://www.uma.es/doctorado-imee/navegador_de_ficheros/REPOSITORIO-PD-IMEE/descargar/thesis_Javier_Vazquez_Peralta_v3.pdf)

Wang, H.; Song, S.; Zou, C.; Wang, F.; Zhang, F.; Zhang, Z, Morozov, S.; Wang, X.; Reddy, K. y An, Q. (2019). Photomechanical effect leading to extraordinary ductility in covalent semiconductors, *Revista de Physical review*, 100 (30), 12 – 19. Recuperado de <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.100.094110>


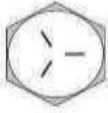
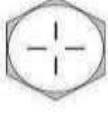


White, T. (2018). Photomechanical effects in liquid crystalline polymer networks and elastomers. *Revista de Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 56 (9), 695 – 705. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/polb.24576>

Yu, Q.; Peixin, G.; Dong, Y. (2019). Photomechanical Organic Crystals as Smart Materials for Advanced Applications. *Revista de Chemistry Europe*, 25 (22), 5611 – 5622. Recuperado de <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/chem.201805382>

## ANEXOS

### Anexo 1 Especificaciones de torsión de acuerdo con la naturaleza del perno

**ESPECIFICACIONES DE TORSIÓN DE ACUERDO CON LA DUREZA DEL TORNILLO**  
Este diagrama se utiliza para identificar los niveles de dureza y torsión para los tornillos.  
para poder aplicar en ellos la torsión adecuada en cada caso.

G R A D O S. A. E.	1 o 2	5	6	8	
					
1/4 Diám.	5 Lbs.-pie	7 Lbs.-pie	10 Lbs.-pie	10.5 Lbs.-pie	11 Lbs.-pie
5/16 Diám.	9 Lbs.-pie	14 Lbs.-pie	19 Lbs.-pie	22 Lbs.-pie	24 Lbs.-pie
3/8 Diám.	15 Lbs.-pie	25 Lbs.-pie	34 Lbs.-pie	37 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie
7/16 Diám.	24 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie	55 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	65 Lbs.-pie
1/2 Diám.	37 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	85 Lbs.-pie	92 Lbs.-pie	97 Lbs.-pie
9/16 Diám.	53 Lbs.-pie	88 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	132 Lbs.-pie	141 Lbs.-pie
5/8 Diám.	74 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	167 Lbs.-pie	180 Lbs.-pie	192 Lbs.-pie
3/4 Diám.	120 Lbs.-pie	220 Lbs.-pie	280 Lbs.-pie	286 Lbs.-pie	316 Lbs.-pie
7/8 Diám.	190 Lbs.-pie	302 Lbs.-pie	440 Lbs.-pie	473 Lbs.-pie	503 Lbs.-pie
1 Diám.	282 Lbs.-pie	466 Lbs.-pie	660 Lbs.-pie	714 Lbs.-pie	771 Lbs.-pie



## Anexo 2 Propiedades del acero inoxidable AISI 304



### AISI 304

Acero Inoxidable - Tolerancia h9-h10

**GENERALIDADES:** Acero inoxidable austenítico al cromo-níquel de mediana resistencia. No magnéticos y no endurecen por tratamiento térmico. Al aplicarse trabajo en frío pueden lograr un ligero magnetismo y endurecimiento. Calidad especial para soldar, excelentes características de formado debido a su alta ductilidad y resistencia a impacto.

Se puede disponer del material 304-L, indicando la L, menor contenido de carbono ( $\leq 0.030\%$ ), lo que mejora las características de soldabilidad y resistencia a la corrosión principalmente.

#### ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
AISI 304	$\leq 0.08$	$\leq 1.00$	$\leq 2.00$	$\leq 0.045$	$\leq 0.03$	8.00-10.50	18.00-20.00

#### EQUIVALENCIAS

AISI	304
SAE	30304
DIN	X5CrNi18-10
W-Nr.	1.4301
ASTM	A240
BS	304 S 15

#### PROPIEDADES MECANICAS

Propiedades	
Esfuerzo de cedencia, N/mm <sup>2</sup>	276
Resistencia a la Tensión, N/mm <sup>2</sup>	586
Elongación, A5	60%
Reducción de área, Z	65-70%
Dureza	150 HB

#### APLICACIONES

Se utiliza principalmente para el procesamiento de alimentos y químicos. Entre las sustancias a las cuales resiste tenemos:

QUÍMICOS	ALIMENTOS
Acido Oleico	Jugos de Fruta
Carbonato de Sodio	Leche
Alcohol Etilico y Metílico	Cerveza
Cloroformo	Miel
Agua marina	Mayonesa
Gasolina	Café
Acetona	Vinagre
Glicerina	Salsa de Tomate
Fuel-oil	Azúcar
DDT	Gelatina
Agua Potable	Cola

Nota: Con respecto a los ácidos, se deben tomar en cuenta las concentraciones de los mismos y sus temperaturas, de acuerdo a las curvas de corrosión.

Entre los usos que se pueden dar al acero inoxidable 304 tenemos: enfriadores, tanques de almacenamiento, recipientes para químicos, intercambiadores de calor, implementos para el manejo de alimentos, tintas, ejes para bombas, etc.

#### TRATAMIENTO TÉRMICO

**Recocido:** Deben ser recocidos a aproximadamente 1050-1070 °C, sosteniéndolos a esta temperatura durante un periodo corto, aproximadamente 1/2 hora y después enfriándolos rápidamente, de preferencia en agua. El enfriamiento en aire debe hacerse solamente en casos que se trate de un material muy delgado y no es para barras.

**Temple:** Los aceros inoxidables austeníticos no tienen la característica de templearse.

**Forja:** 1200 °C.

**SOLDABILIDAD:** Utilizar electrodos AWS E308L-17. No se requiere tratamiento térmico de alivio de tensiones, si no se especifica lo contrario. Recomendamos nuestros electrodos ESAB OK 61.30 o Elefante KST-308-L.

Si el acero inoxidable 304 se utiliza en el rango de temperatura de 420-820 °C, se puede presentar el fenómeno de corrosión intercrystalina debido a la precipitación de carburos.

## MEDIDAS EN STOCK

### REDONDO

### PLATINA

mm	PULGADAS	PESO APROX. kg/m	mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
4.76	3/16	0.15	3.0x50.0	1/8x1 31/32	1.2
6.35	1/4	0.3	3.17x19.05	1/8x3/4	0.5
7.94	5/16	0.4	3.17x25.4	1/8x1	0.6
9.52	3/8	0.6	3.17x38.1	1/8x1 1/2	1.0
12.70	1/2	1.0	3.20x32.0	1/8x1 1/4	0.8
15.87	5/8	1.6	3.50x31.75	9/64x1 1/4	0.9
19.05	3/4	2.3	6.35x31.75	1/4x1 1/4	1.6
22.23	7/8	3.1	6.35x38.0	1/4x1 1/2	1.9
25.4	1	4.1	6.35x25.0	1/4x1	1.3
28.58	1 1/8	5.1	6.35x51.0	1/4x2	2.6
31.75	1 1/4	6.3	6.35x57.0	1/4x2 1/4	2.9
38.10	1 1/2	9.1	9.0x38.0	23/64x1 1/2	2.7
44.45	1 3/4	12.4	9.52x25.4	3/8x1	1.9
50.80	2	16.2	9.52x38.1	3/8x1 1/2	2.7
57.15	2 1/4	20.5	9.52x50.0	3/8x50.0	3.8
63.50	2 1/2	25.3	9.52x80.8	3/8x3 5/32	3.9
69.85	2 3/4	30.6	11.0x30.0	7/16x1 3/16	2.6
76.20	3	36.5	11.0x40.0	7/16x1 9/16	3.5
88.90	3 1/2	49.6	12.7x38.1	1/2x1 1/2	3.9
101.60	4	64.8	12.7x50.8	1/2x2	5.2
114.30	4 1/2	82.0			
127.00	5	101.3			
139.70	5 1/2	124.0			
152.40	6	145.9			

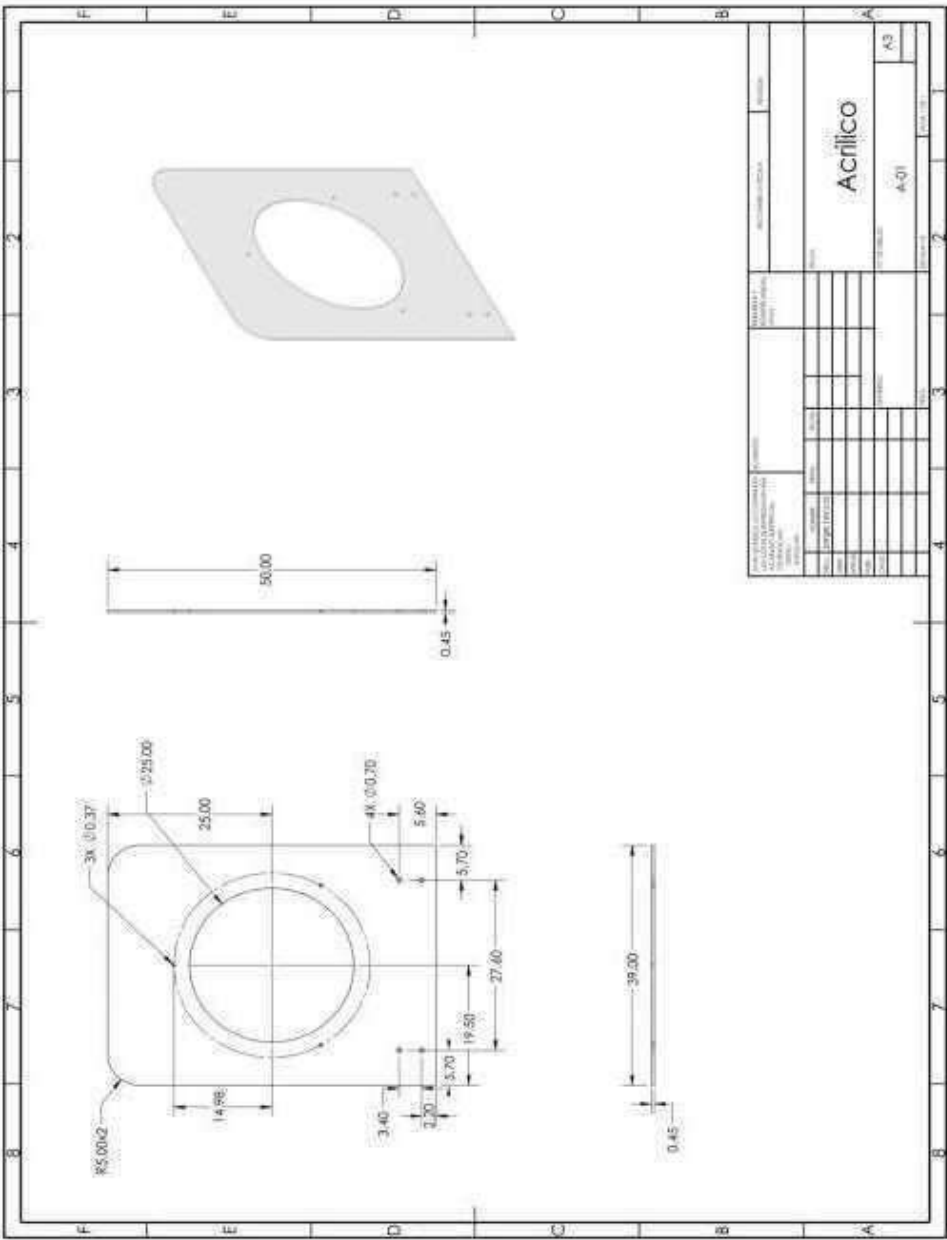
### BARRA PERFORADA

### HEXAGONAL

mm	PESO APROX. kg/m
40x20	7.8
50x25	12.1
56x28	15.1
63x32	18.9
71x36	23.9
75x40	25.7
80x45	28.0
90x63	27.2
100x71	32.8

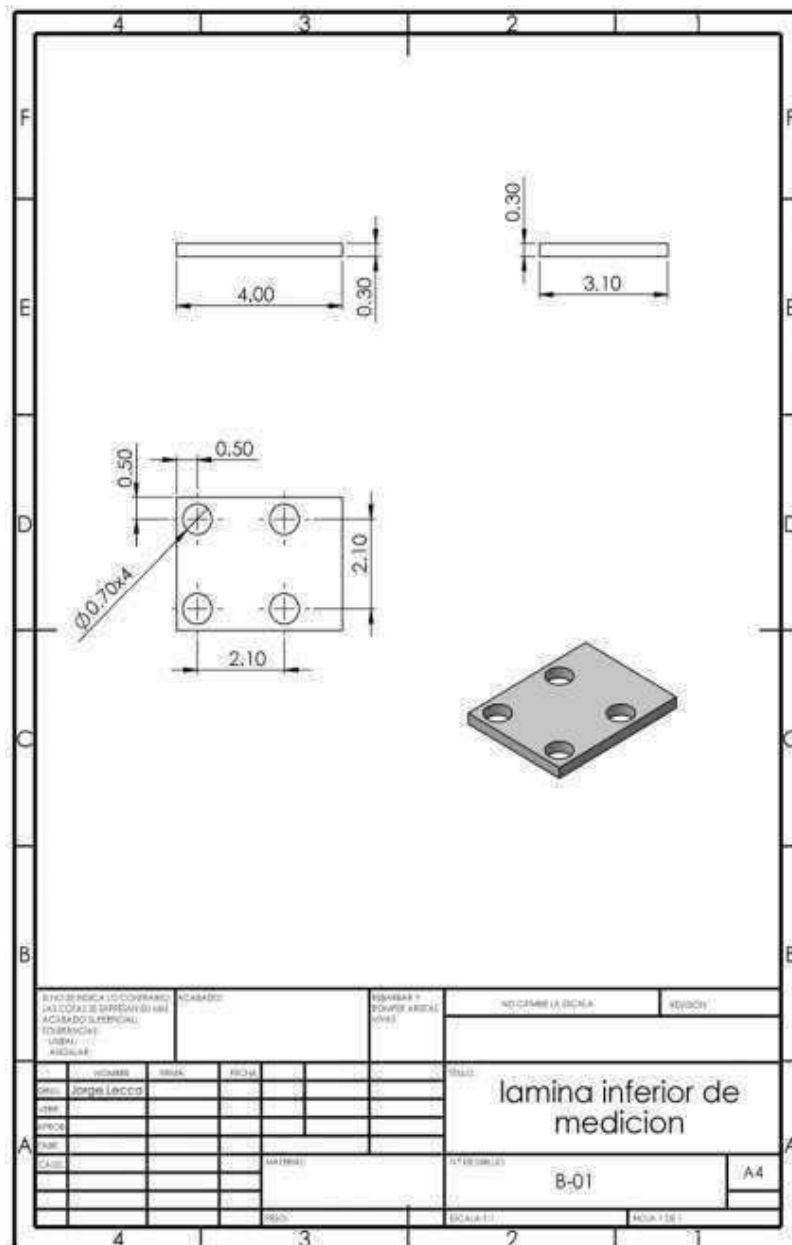
PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
1/2	1.0
5/8	1.6
3/4	2.3
7/8	3.2
1	4.2
1 1/4	6.5

Anexo 3 Planos

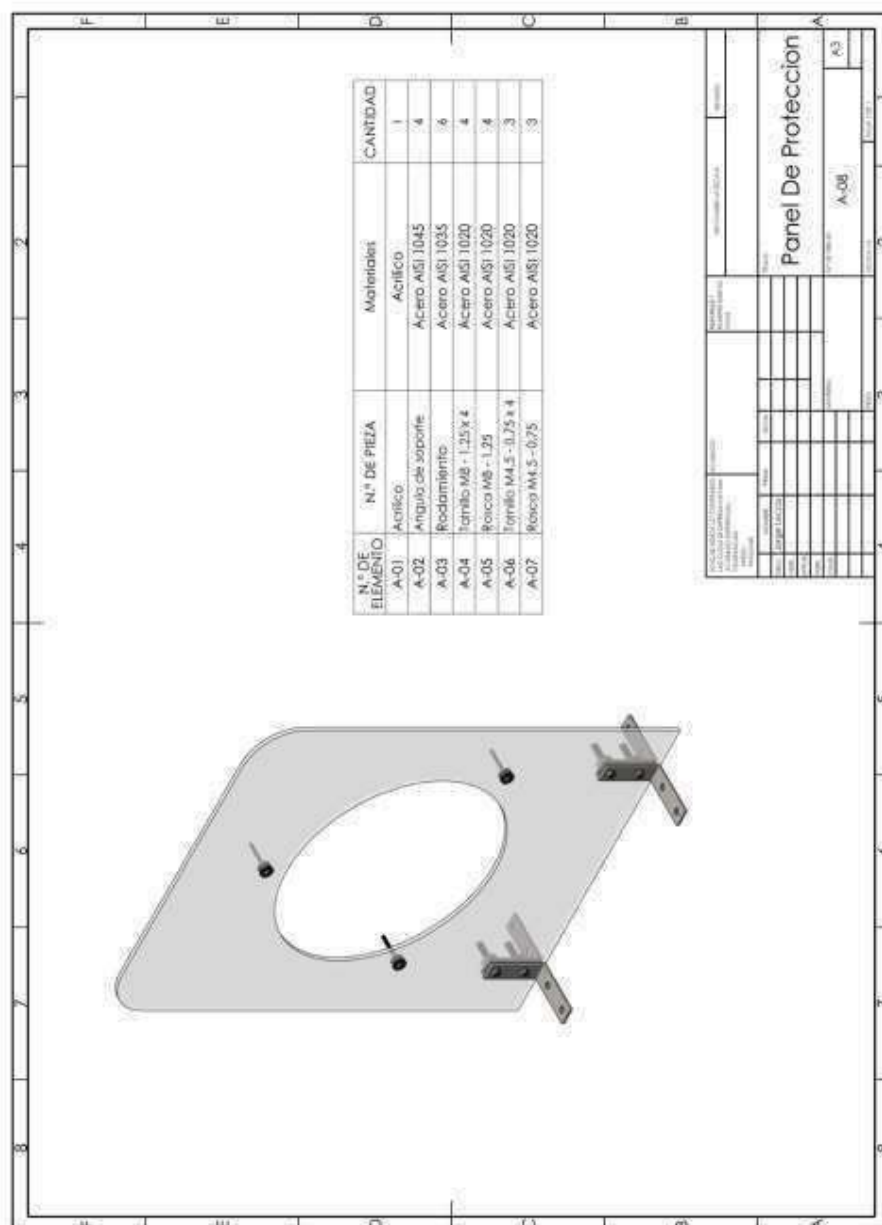






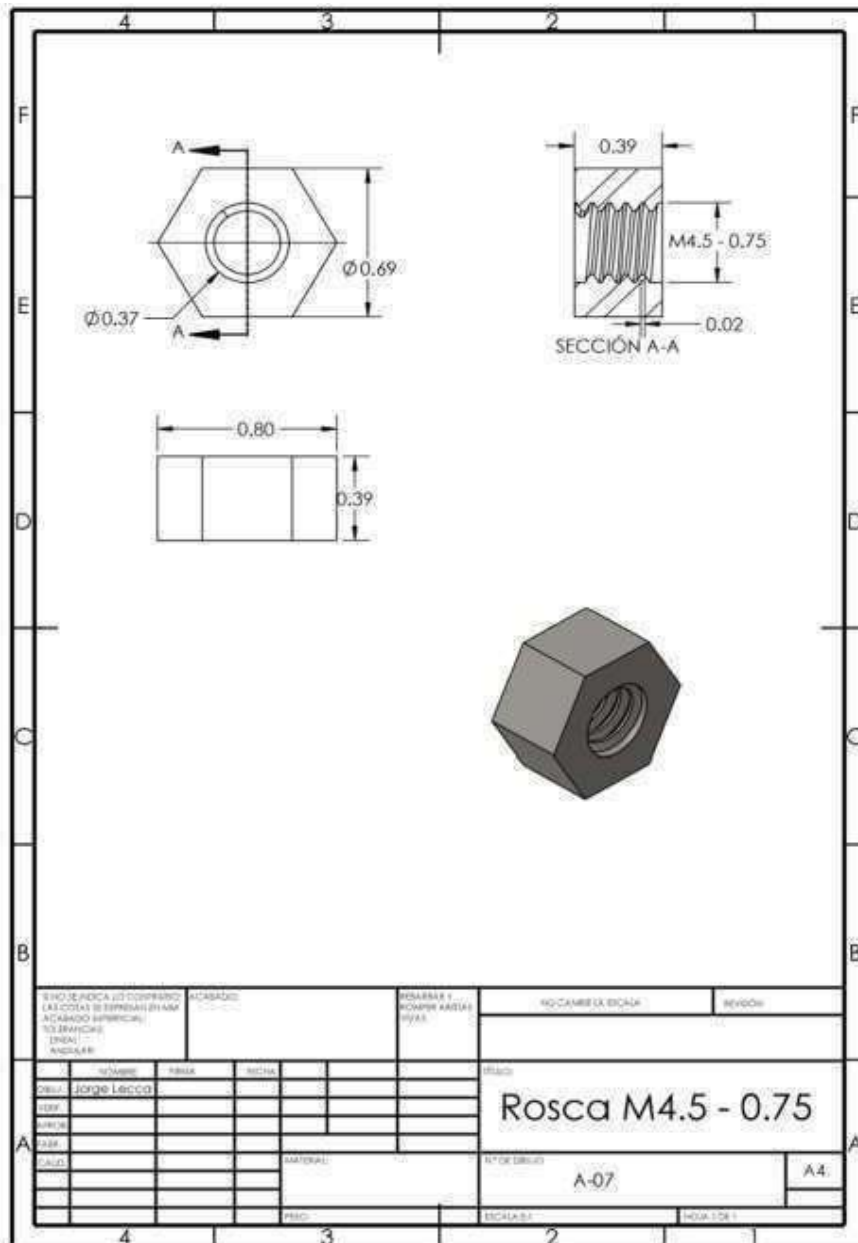








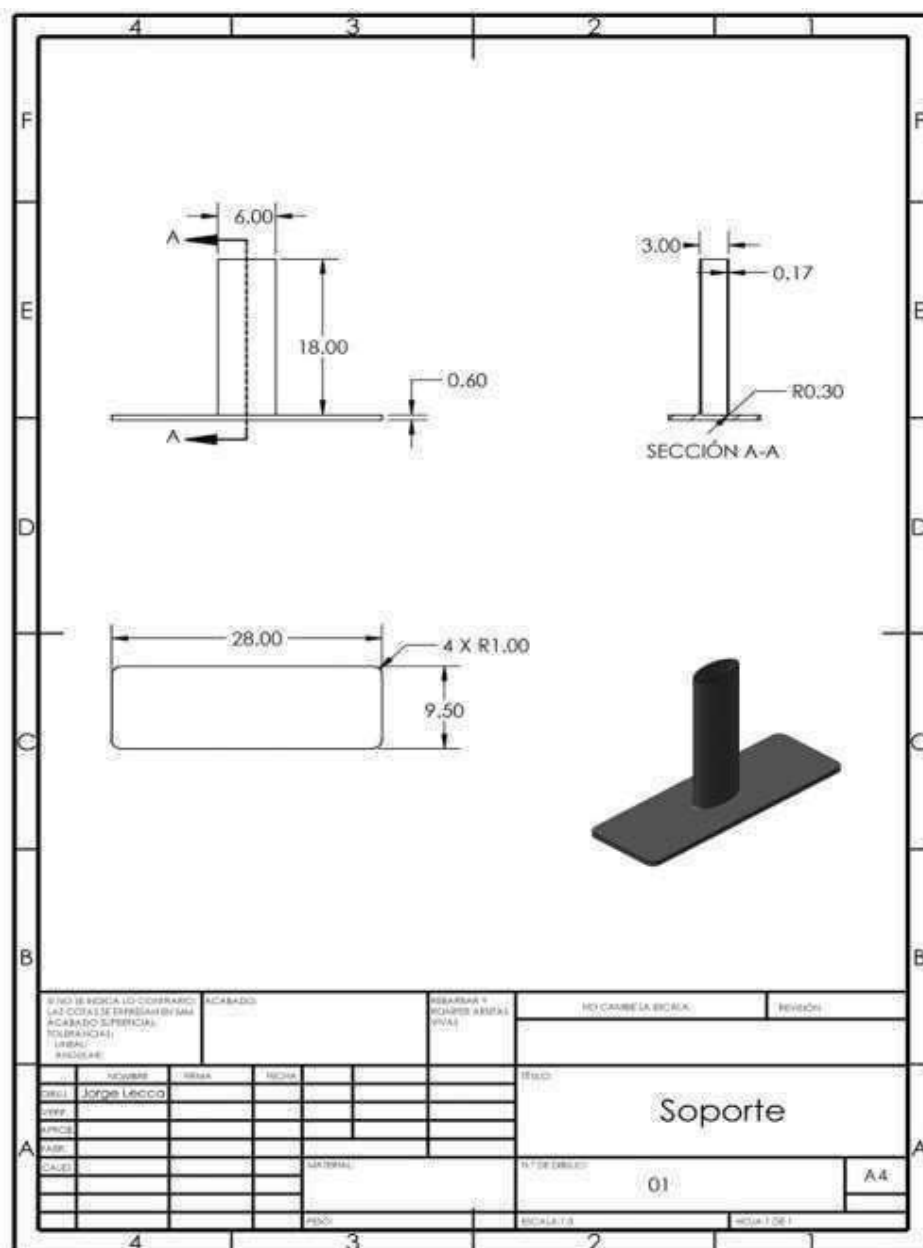




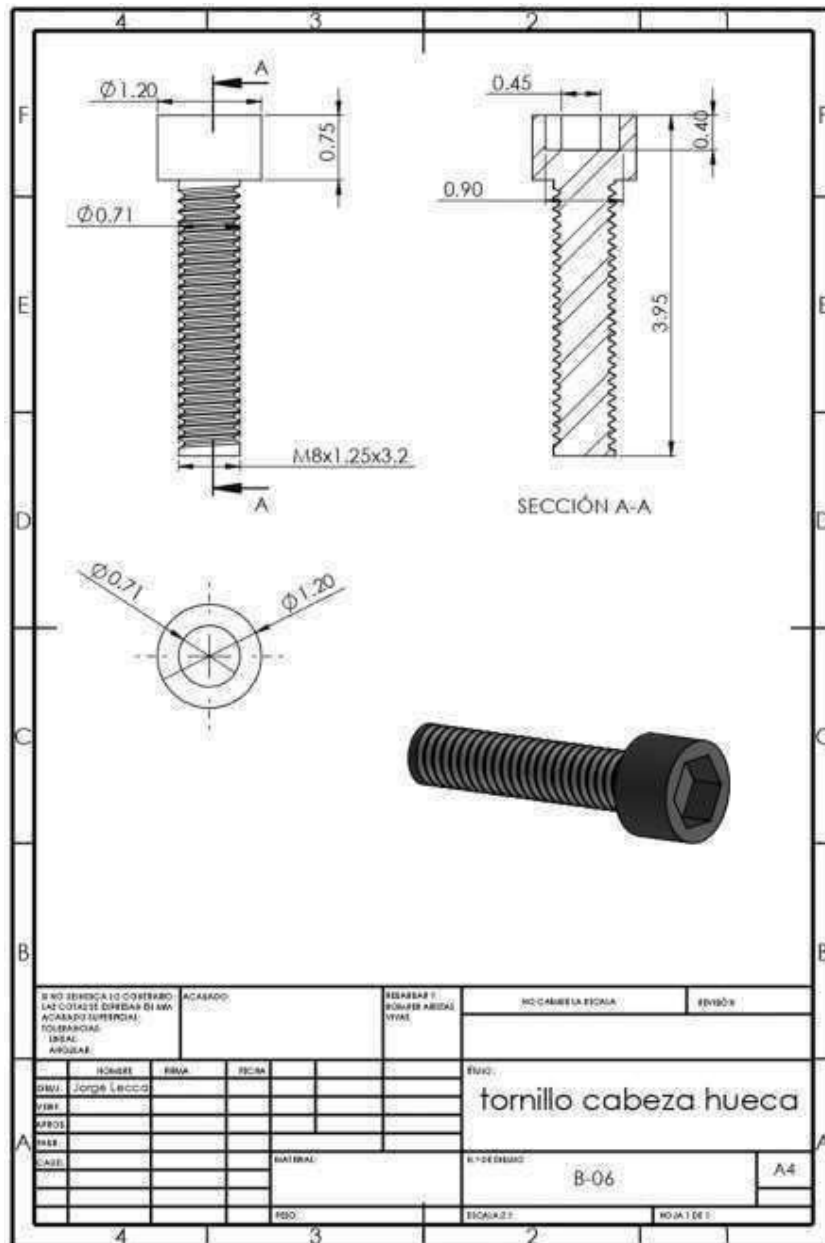
6 VIO 5/8 INCH A 20 COMPRESION LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERIOR NO BRANCHES (INDA) - INDICAR				ACABADO		ROMPER Y ROMPER ABRAS PASA		NO CAMBIE LA BICHA		REVISOR	
NOMBRE				FECHA		FECHA		FECHA		FECHA	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO		DISEÑO	
DISEÑO				DISEÑO		DISEÑO					











B NO SE DEBE A LO CONTRARIO LAS COTAS SE DIBUJAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIAS LINEAL ANGULAR				ACABADO:		REPARAR O ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CABE LA ESCALA		REVISOR	
INGENIERO		PROYECTO		FECHA		ESCALA		TITULO:		FECHA	
DISEÑO		Jorge Lecca						tornillo cabeza hueca			
VERIF.											
APROB.											
BASE											
CASE											





