

REPORTE TECNICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
CGPI 20061528 “DISEÑO DE UN MARCO EXPERIMENTAL PARA LA
DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN
ESPECIMENES BAJO CARGAS COMBINADAS.

RESUMEN.- Los elementos de máquinas, las estructuras, presentan formas complejas, con variaciones en las formas y dimensiones, lo cual hace necesario la utilización de métodos de diseño basados en factores de concentración de esfuerzos que previamente han sido determinados para condiciones de carga y geometrías particulares, es decir las gráficas de Peterson, dichas gráficas se utilizan para cuando las estructuras mencionadas anteriormente, son cargadas en forma simple, sin embargo no hay estudios acerca de la aplicación de cargas en forma combinada. En este proyecto se pretende realizar un marco de carga para la aplicación de cargas combinadas.

INTRODUCCIÓN.- El propósito de este proyecto es el de analizar los elementos mecánicos sujetos a cargas combinadas con el fin de determinar los factores de concentración de esfuerzos. Primero se hace una descripción del método tradicional para medir la concentración de esfuerzos mediante el uso del polariscopio, se describen las partes que se compone dicho polariscopio, así como la aplicación de una carga y los resultados que se obtienen en forma teórica y experimental.

Se realizaron algunas prácticas y los resultados fueron analizados para saber del campo de esfuerzos que se presentan en las probetas.

Posteriormente se llevo a cabo el diseño y fabricación de un marco de cargas capaz de aplicar esfuerzos combinados (tensión-compresión y flexión), que incluye la realización de los dibujos la fabricación de las piezas y el montaje del mismo.

Con la fabricación de las probetas que se realizaron para este marco de carga se aplicaron una fuerza y un momento simultáneamente (esfuerzos combinados) y se determinó el campo esfuerzos mediante un polariscopio de transmisión.

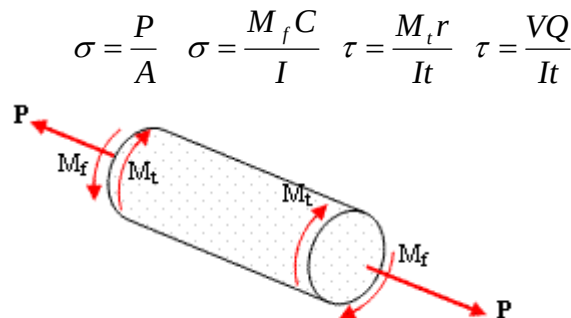
También se generó un Modelo Numérico de las mismas probetas con el fin de comparar los resultados, con los obtenidos en forma experimental.

METODOS Y MATERIALES

Es de vital importancia analizar elementos sujetos a diferentes tipos de carga, los cuales producen diferentes tipos de esfuerzos, bajo estas condiciones se puede establecer el diseño de cualquier sección y de alguna forma se predice las condiciones de falla, sin embargo cuando un elemento esta sometido a dos o mas tipos de carga el factor de seguridad de la sección se reduce considerablemente. Los esfuerzos producidos por la aplicación de dos o mas tipos de carga (axial, cortante y momento flector) se considera como “esfuerzos combinados”. Los esfuerzos combinados se producen en la mayoría de los elementos mecánicos.

A continuación, analizaremos un ejemplo donde podemos apreciar los diferentes tipos de esfuerzos que actúan sobre una sección.

Consideremos un elemento de sección circular, como se observa el elemento esta sometido a esfuerzo normal en tensión debido a la carga P , por otro lado actúan sobre el un par de flexión y un par de torsión, el primero provoca esfuerzo cortante por torsión y el segundo esfuerzo normal por flexión.



CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS.

Con anterioridad, se presentó el cálculo de esfuerzos combinados sobre cualquier tipo de sección de manera ideal, sin embargo no sabemos con certeza cual es el máximo esfuerzo local que se presenta sobre cualquier punto.

Básicamente en el análisis de esfuerzos consideramos que los materiales son isotrópicos continuos y homogéneos, además de presentar una sección uniforme.

En la práctica de la ingeniería notamos que cualquier elemento tiene cambios en los componentes y en las formas de su sección. Los cambios más comunes se presentan como barrenos, chaflanes y roscas. Podemos notar que cualquier discontinuidad dentro de la forma geométrica del material propicia un cambio en la distribución de los esfuerzos, por lo cual las ecuaciones básicas para calcular esfuerzos reducen su aplicabilidad para fines reales. Este incremento de esfuerzo en cualquier punto debido a las discontinuidades del material se le conoce como “*concentración de esfuerzos*”.

La concentración de esfuerzos se define como un pico en la intensidad del esfuerzo que ocurre en un punto de discontinuidad geométrica de un elemento sometido a carga. Ejemplos de tales discontinuidades geométricas son: entallas, barrenos, roscas, reducciones de espesor, etc.

Los efectos de la concentración de esfuerzos dependen de la intensidad y tipo de carga (estática o cíclica), material, geometría del elemento y geometría de la discontinuidad.

Se define el factor de concentración de esfuerzos K , como la relación entre el esfuerzo máximo o pico y el esfuerzo nominal en la sección neta, ambos en el rango elástico de carga. Este factor K es aplicado al esfuerzo nominal presente en el elemento para obtener el esfuerzo máximo, que será el que nos dé finalmente el Factor de Seguridad en el elemento.

Las causas de las concentraciones de esfuerzo (también llamados elevadores de esfuerzo) son muy variadas y numerosas. Son principalmente debidos a acabados superficiales, inclusiones no metálicas o formas geométricas. Una concentración de esfuerzo es cualquier condición material que cause que el esfuerzo local sea mayor que el esfuerzo nominal. La geometría o forma del espécimen es uno de los factores más importantes.

El concentrador de esfuerzo geométrico se define como la relación del esfuerzo máximo en la sección de interés sobre el esfuerzo nominal

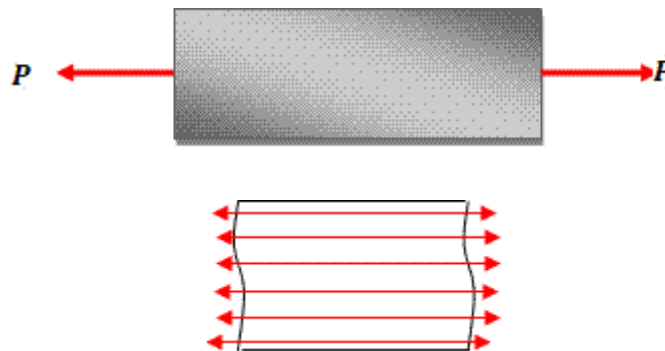
$$K_t = \frac{\text{Esfuerzo maximo en la seccion de interes}}{\text{Esfuerno nominal en la seccion de interes}}$$

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}, \text{ para esfuerzo normal}$$

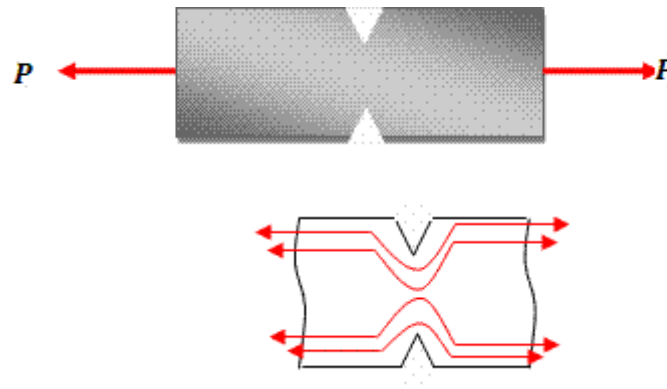
$$K_{ts} = \frac{\tau_{max}}{\tau_n}, \text{ para esfuerzo cortante}$$

Donde K_t es el factor de concentración de esfuerzo teórico o geométrico dado solamente por la geometría del material, y K_{ts} es el factor de concentración para corte.

Consideremos una placa a la cual se le aplica una carga P en sus extremos, notamos que las líneas de flujo de fuerza están uniformemente espaciadas, es decir no existe ninguna discontinuidad en el material.

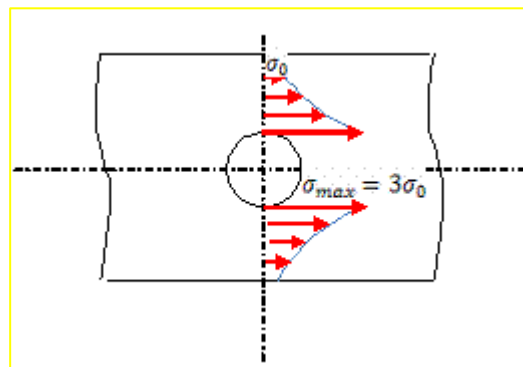


Ahora consideremos la misma placa pero con muescas en su forma.



Observemos que las líneas de flujo de fuerza están espaciadas de manera uniforme lejos del centro de la placa, sin embargo en la muesca las líneas de fuerza exteriores cambian de dirección y no están espaciadas de manera uniforme. Debido a la uniformidad de espacios en las líneas de fuerza, cerca de la muesca se propicia un mayor número de estas por área unitaria, debido a esto se incrementa el valor del esfuerzo local. A medida que las líneas se alejan de la muesca, estas toman nuevamente su orientación original, el valor del esfuerzo disminuye a su valor nominal.

Otro ejemplo que muestra la influencia del cambio geométrico es una placa con un barreno en su centro. El análisis teórico de la distribución de esfuerzo indica que este sobre la línea tangente al agujero $\sigma_{max} = 3\sigma_0$, entonces el valor de $K_t = 3$.



Si todos los materiales fueran homogéneos y estuvieran libres de marcas, podría justificarse K_t como el valor de concentración en los cálculos de esfuerzos por fatiga, sin embargo esto no ocurre; por lo tanto es necesario utilizar un factor de esfuerzo por fatiga, el cual está definido por la relación:

$$K_f = \frac{\text{Esfuerzo ultimo por carga reversible en especimen sin muesca}}{\text{Esfuerzo ultimo por carga reversible en especimen con muesca}}$$

Debido a esto es necesario hacer un número ilimitado de muescas para producir valores de K_f , muchas veces es necesario relacionar K_t con K_f para diferentes tamaños de muesca.

R. E. Peterson sugiere una relación entre K_t y K_f , a la cual denomino “factor de sensibilidad de la muesca” designado por la letra “ q ”. Muchas veces es necesario relacionar los factores de esfuerzo teórico como geométrico, tal relación es la siguiente.

$$\text{Para carga axial : } q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1}$$

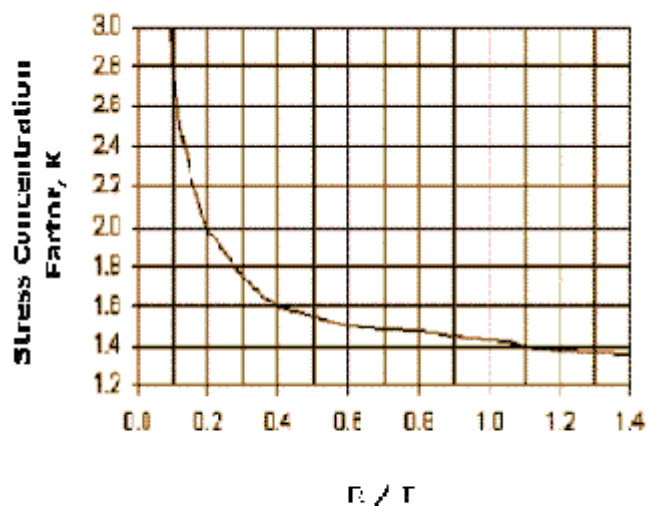
$$\text{Para carga cortante : } q = \frac{K_{fs} - 1}{K_{ts} - 1}$$

Si resolvemos las ecuaciones anteriores para K_f , tenemos:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1)$$

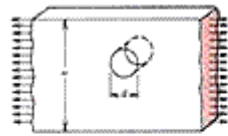
Notamos que $q = 0$ $K_f = 1$ y si $q = 1$ $K_f = K_t$.



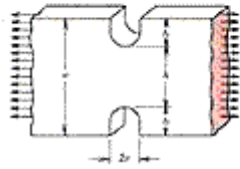
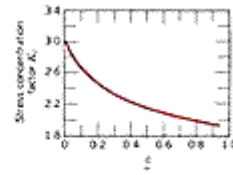
STRESS CONCENTRATION FACTOR, K
(AS A FUNCTION OF RADIUS/THICKNESS)

Como puede apreciarse, en la gráfica anterior, el factor de concentración de esfuerzo debido a la tensión es absolutamente alto para bajos valores de $R/T < 0.5$ y bajo para valores de $R/T > 0.5$.

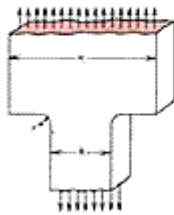
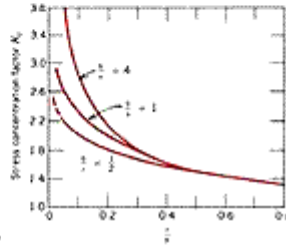
Una manera práctica de reducir las concentraciones de esfuerzo es utilizar radios en lugar de discontinuidades bruscas, además de reducir tensiones, los radios proporcionan las trayectorias aerodinámicas del flujo. Típicamente, en las esquinas, el radio interior es $r = 0.5t$ y el radio exterior es $r = 1.5t$.



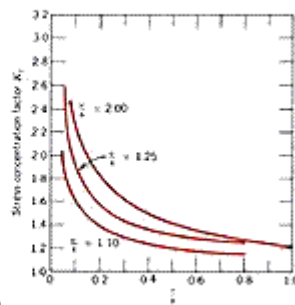
(a)



(b)



(c)



Concentración de esfuerzos para tres diferentes tipos de situaciones geométricas

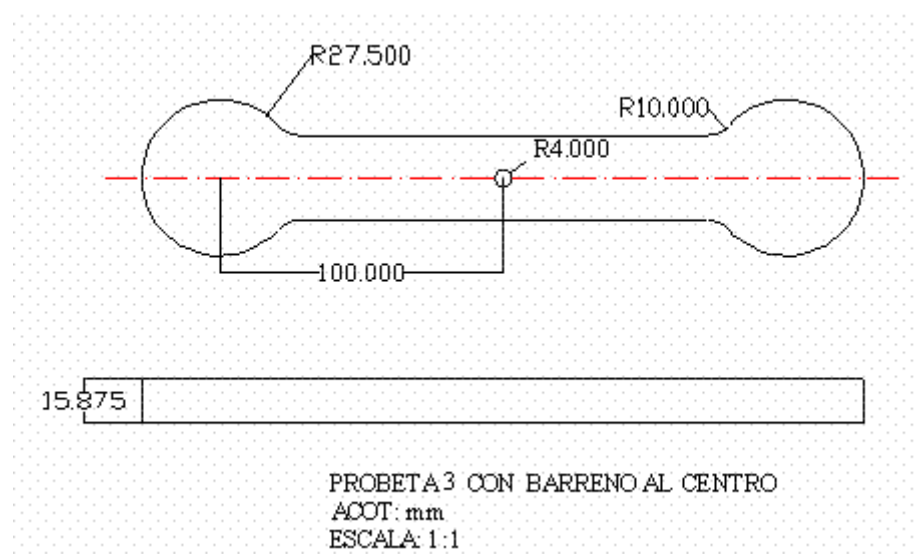
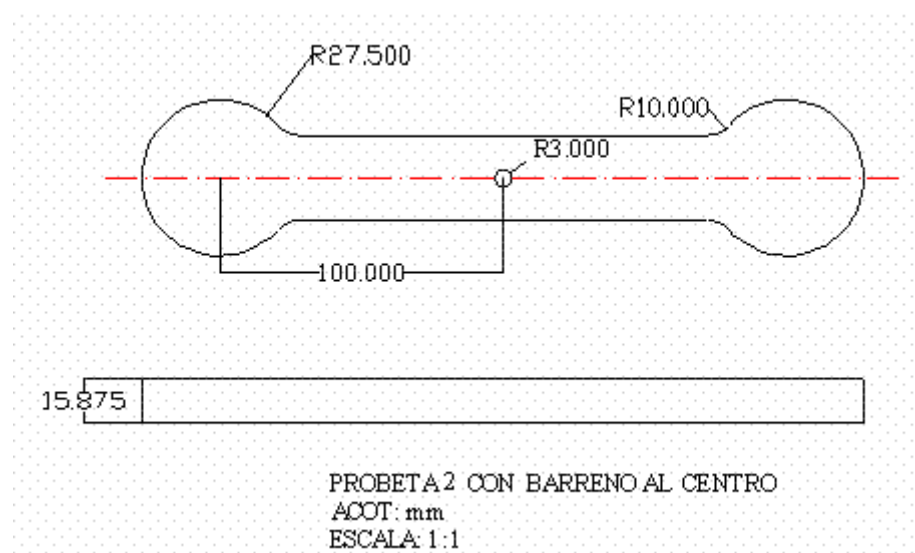
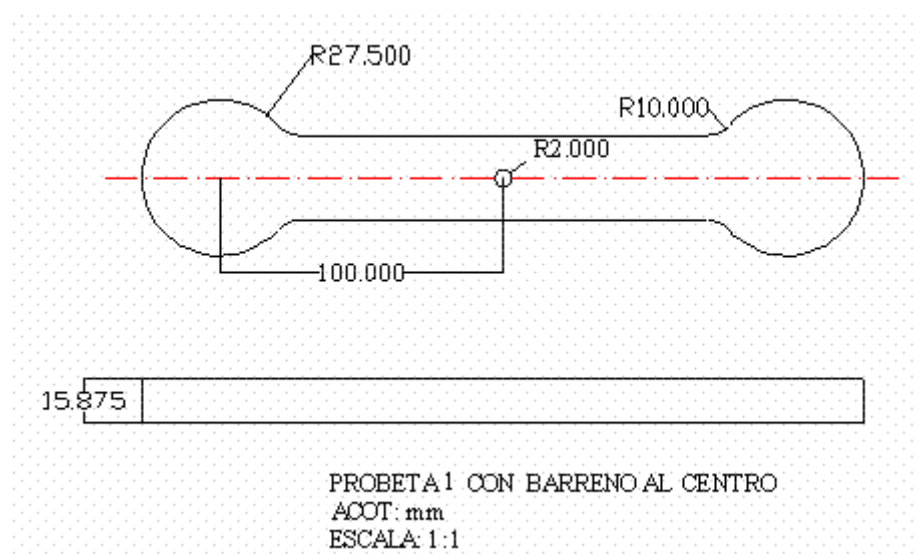
DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PROBETAS.

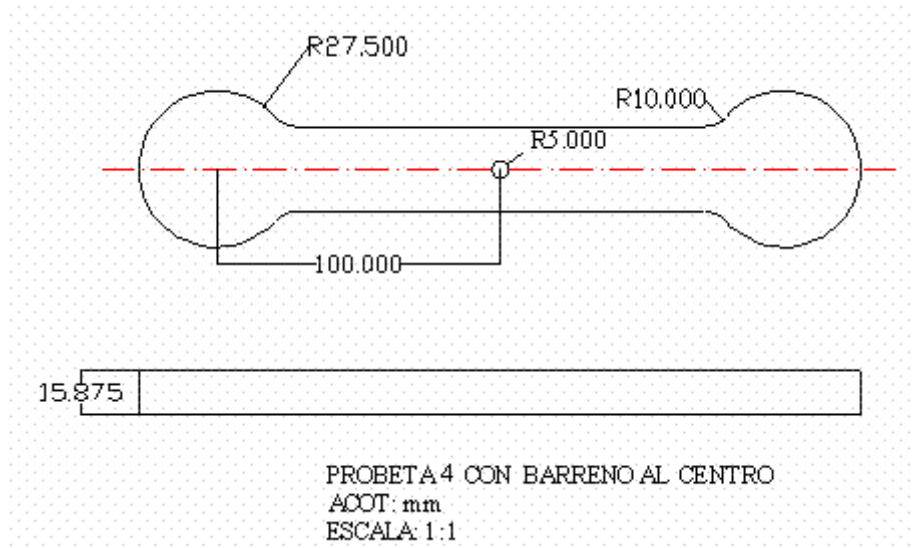
El objetivo es analizar elementos mecánicos, para observar el comportamiento de éstos, mediante análisis numérico (ANSYS) y compararlo con los valores obtenidos de manera analítica.

Se optó por utilizar material fotoelástico, ya que debido a sus propiedades birrefringentes (ópticas asociadas a las mecánicas) permite mediciones microscópicas precisas. Se seleccionaron dos modelos de probeta con alteraciones geométricas (concentradores de esfuerzos) para su análisis.

Se fabricaron ocho probetas, cuatro de ellas con barrenos.

con barrenos al centro.





Descripción general

El polariscopio de tensión maestra es un polariscopio de meza con una fuente de luz difusa de 150 mm, además de ser portátil para utilizarse en un laboratorio o salón de clase.

Esto con el fin de que esta herramienta pueda ser usada por alumnos, en forma individual o por parejas de estudiantes para poder realizar experimentos por ellos mismos y observar los resultados que se verían en otros equipos más sofisticados y caros.

Este polariscopio (de transmisión) puede ser usado como polariscopio plano o polariscopio circular, los experimentos que se realizan con el polariscopio nos permiten observar técnicas avanzadas de fotoelasticidad.

Un número de modelos se proporcionan con el equipo para permitir a los estudiantes entender los principios básicos de la técnica de fotoelasticidad.

Además de los modelos se incluyen lentes de cuarto onda, un polarizador, un analizador (lentes de media onda) y también un marco de carga versátil para poder aplicar cargas de tensión o compresión conocidas.

Los modelos para las cargas vivas están hechos de fotoflex una goma de uretano transparente de alta sensibilidad óptica, por lo tanto solo pequeñas cargas manejables son necesarias, sin arreglos de palanca. También se incluye se incluye un modelo de tensión congelada el cual esta hecho de resina columbia CR-19.

COMPONENTES DEL EQUIPO

Unidad básica

- Base cubierta de madera
- Portalámpara con pantalla difusora
- Filtro verde
- Dos marcos para elementos de polarización
- Poste de carga
- Dos discos polaroid planos de 150 mm de diámetro (polarizador y analizador)
- Dos placas de cuarto de onda de 150 mm de diámetro

Accesorios de carga

- Plataforma de carga con tornillo de amarre
- Guía de embolo con tornillo de amarre
- Embolote carga
- Tira de balance de carga
- Perno con tuerca de perilla
- Platillo de peso
- Dos placas de sujeción larga
- Dos placas de sujeción corta
- Cinco pernos
- 10 pernos atornillados
- Dos pesas de 100gr.
- Dos pesas de 200gr.

MODELOS

- Modelo de tensión completo
- Modelo de tensión con hoyo central
- Placa rectangular
- Placa con hendidura
- Disco
- Compensador
- Garfio de grúa
- Garfio de grúa de tensión congelada

El polariscopio se puede arreglar de dos maneras, la primera es el arreglo de un polariscopio plano y el otro un polariscopio circular.

Polariscopio plano

Un polariscopio plano consiste esencialmente de dos elementos polarizantes llamados, polarizador y analizador, aunque tengan nombres diferentes ambos son idénticos en su naturaleza y simplemente transmiten luz plana polarizada. El modelo que será analizado se coloca entre el polarizador y el analizador.

Polariscopio circular

Un polariscopio circular consiste en 4 elementos, el polarizador y el analizador del polariscopio plano, con el aumento de dos placas de cuarto de onda. Su arreglo es de la siguiente manera:

Polarizador, cuarto de onda, modelo, cuarto de onda, analizador.

Materiales birrefringentes

La birrefringencia es una propiedad de los materiales transparentes, que permiten que la luz que pasa a través del material sea polarizada a lo largo de los dos planos perpendiculares. La interferencia de los rayos polarizados da origen a patrones de franjas los cuales pueden ser observados por el ojo humano.

Propiedades importantes de los materiales birrefringentes

- En la condición de tensión contienen dos planos mutuamente perpendiculares dentro de los cuales la luz refractada es polarizada.
- Los planos de polarización coinciden con los ejes de tensión principal
- La diferencia de velocidades de los rayos refractados en un punto es proporcional a la diferencia de tensión principal.

Franjas isoclínicas

- Una franja isoclínica es siempre negra, y se puede observar con luz monocromática o blanca.
- Las franjas isoclínicas ocurren en un modelo cuando es visto en un polariscopio plano, pero no en un polariscopio circular.

Franjas isocromáticas

- Las franjas isocromáticas son generalmente de la mayor importancia, pues ellas están relacionadas con las magnitudes de esfuerzo, y es a menudo conveniente analizarlas, eliminando para ello las franjas isoclínicas.
- La palabra “isocromática” significa “el mismo color” y es por lo tanto el nombre apropiado para estas franjas.
- La eliminación de las franjas isoclínicas se realiza con el arreglo de un polariscopio circular.

Determinación del orden de franja

Cuando nuestro modelo es sometido a tensión o compresión utilizando un polariscopio circular con una fuente de luz blanca observaremos las franjas isocromáticas.

Ahora esas franjas son de distintos colores, los cuales están relacionados con un valor establecido de franja para cada color, esos valores se encuentran en una tabla de especificaciones para órdenes de franja que van desde cero hasta 4.

La determinación de franja depende de la visión del observador pues como hemos mencionada cada color esta relacionado con un valor y la mala observación nos dará un valor de franja incorrecto y por consiguiente un mal resultado en nuestros cálculos.

Tres técnicas son recomendadas para determinar el orden de franja

- Observar el patrón desarrollado mientras se aplica la carga al modelo y se verá que el orden de franja en un punto se incrementa desde cero hasta el valor final mientras la carga va aumentando, sin embargo no puede ser posible variar la carga de manera gradual.
- La segunda técnica requiere solamente el patrón de franja final que este disponible. (nota: no es posible moverse de una franja de primer orden a una de tercero, o sea, sin pasar por la de segundo orden)
- La tercera es por medio de un compensador de balance nulo

Formula fundamental de fotoelasticidad

Para determinar la magnitud de la diferencia de esfuerzos representada por una franja isocromática de orden conocido, es necesario determinar la constante “f” de la ecuación fundamental de fotoelasticidad.

$$p - q = f \frac{n}{t}$$

Donde:

$p - q$: Magnitudes de tensión principal

n : Orden de franja isocromática

t : Espesor del modelo

f : Índice de refracción del material foto elástico

Las unidades de f son N/mm^2

El valor de f se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{N}{b}$$

Donde:

N : Carga aplicada en Newtons

b : Altura del modelo

ANALISIS DE LAS PROBETAS APLICANDO UNA SOLA CARGA.

Análisis de una probeta con agujero al centro (método analítico, experimental y con elemento finito)

Se somete a tensión una probeta con las siguientes características y condiciones.

$$E = 2.7e^6$$

$$\gamma = .48$$

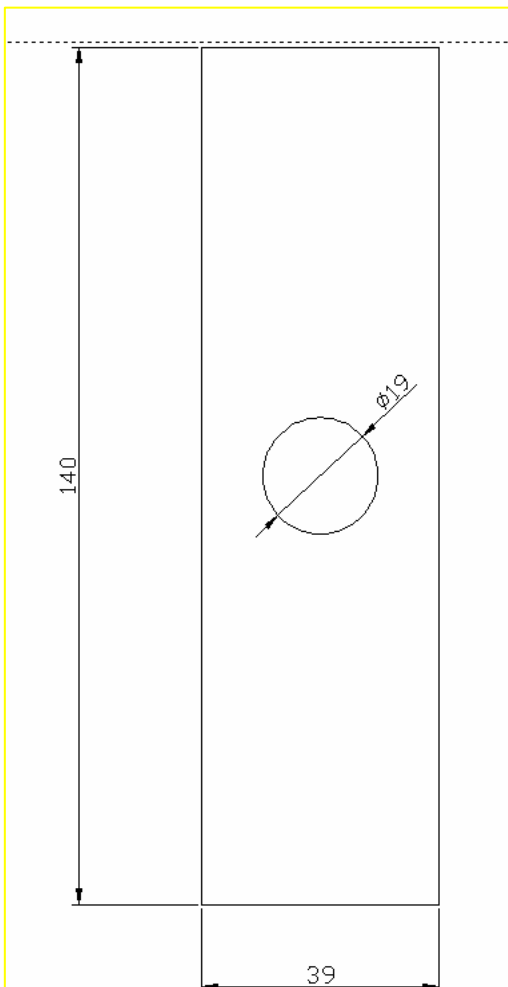
$$f = 180 \text{ N/mm}$$

$$P = .430 \text{ Kg}$$

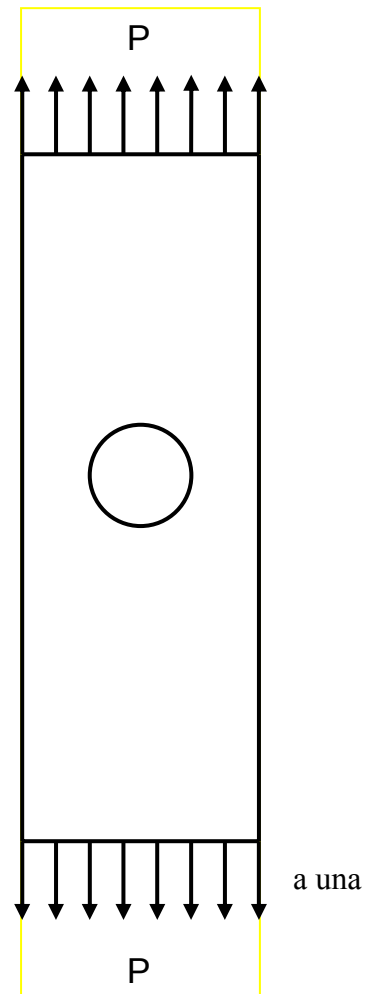
$$h = .006 \text{ m} = \text{espesor}$$

$$w = .039 \text{ m}$$

$$d = .019 \text{ m}$$

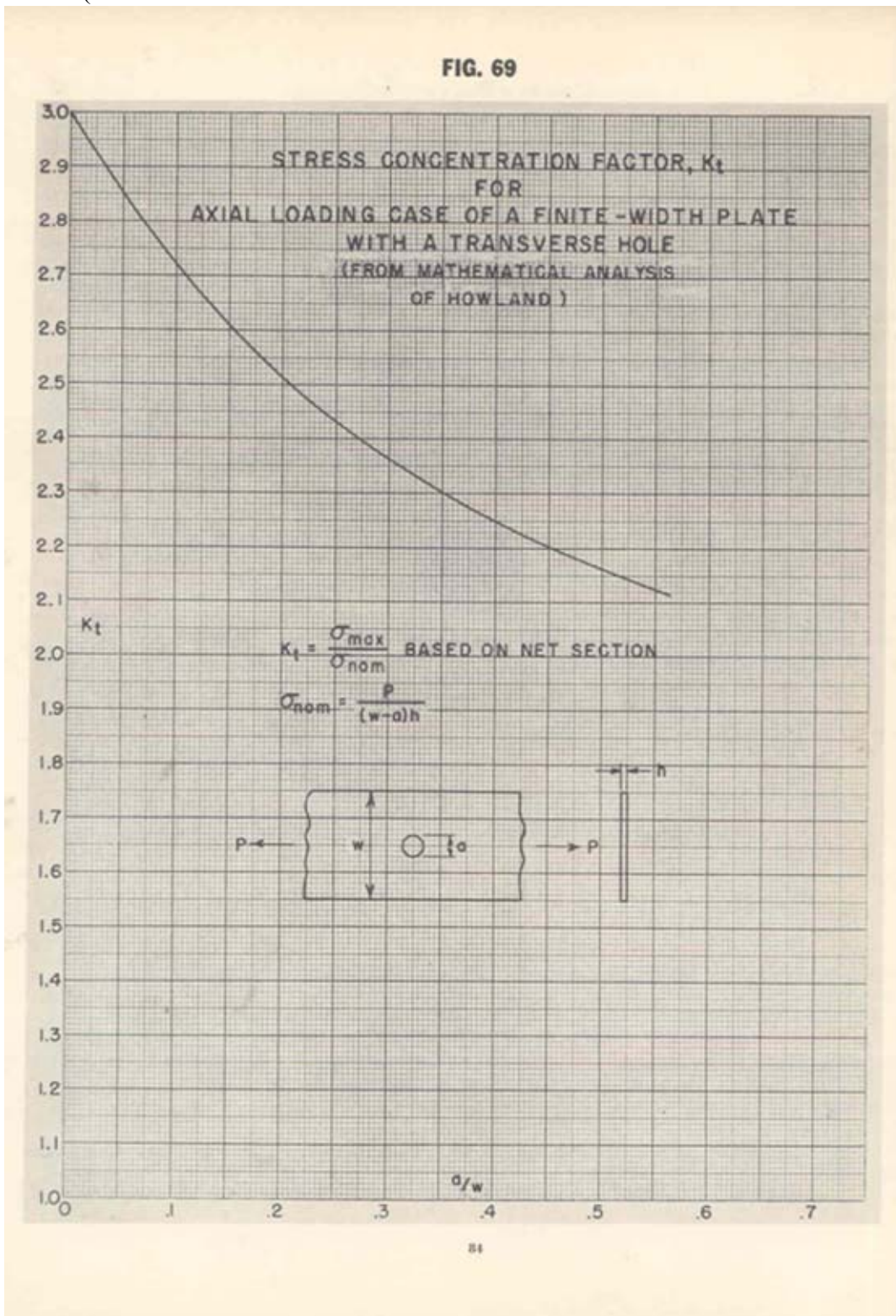


Las características anteriores pertenecen probeta de fotoflex.
Método analítico.



a una

De acuerdo con la tabla de Peterson “STRESS CONCENTRATION FACTOR, K_t FOR AXIAL LOADING CASE OF A FINITE-WIDTH PLATE WITH A TRANSVERSE HOLE (FROM MATHEMATICAL ANALYSIS OF HOWLAND)” tenemos:



Para K_t

$$\frac{d}{w} = \frac{19}{39} = .48 \quad \text{para este valor } K_t \text{ es } 2.16$$

Las siguientes fórmulas son utilizadas para la determinación de los esfuerzos:

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$$

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{P}{(w-a)h}$$

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{4.26735N}{(.00012m^2)} = 35561.25Pa$$

Entonces el valor del esfuerzo máximo es:

$$\sigma_{\max} = (2.17)(35561.25Pa) = 77167.9125Pa$$

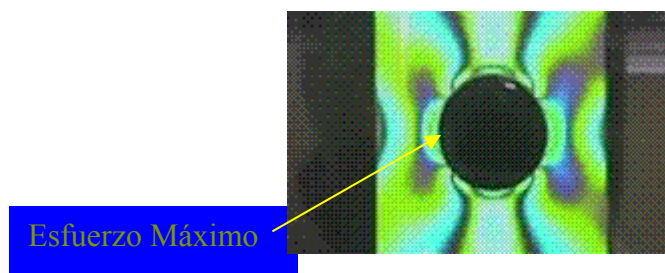
Ahora vamos a hacer el cálculo por el método práctico (fotoelasticidad).

Para este tipo de análisis tenemos la siguiente fórmula general de fotoelasticidad:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{f}{h} n \quad \text{Donde } n \text{ es el valor de orden de franja.}$$

Aquí como solo estamos aplicando una fuerza axial tomamos σ_2 nulo

Si observamos el orden de franja en la parte crítica en donde se presenta la mayor concentración de esfuerzo y la comparamos con la tabla de colores podemos ver que el valor de n es de 2.5.

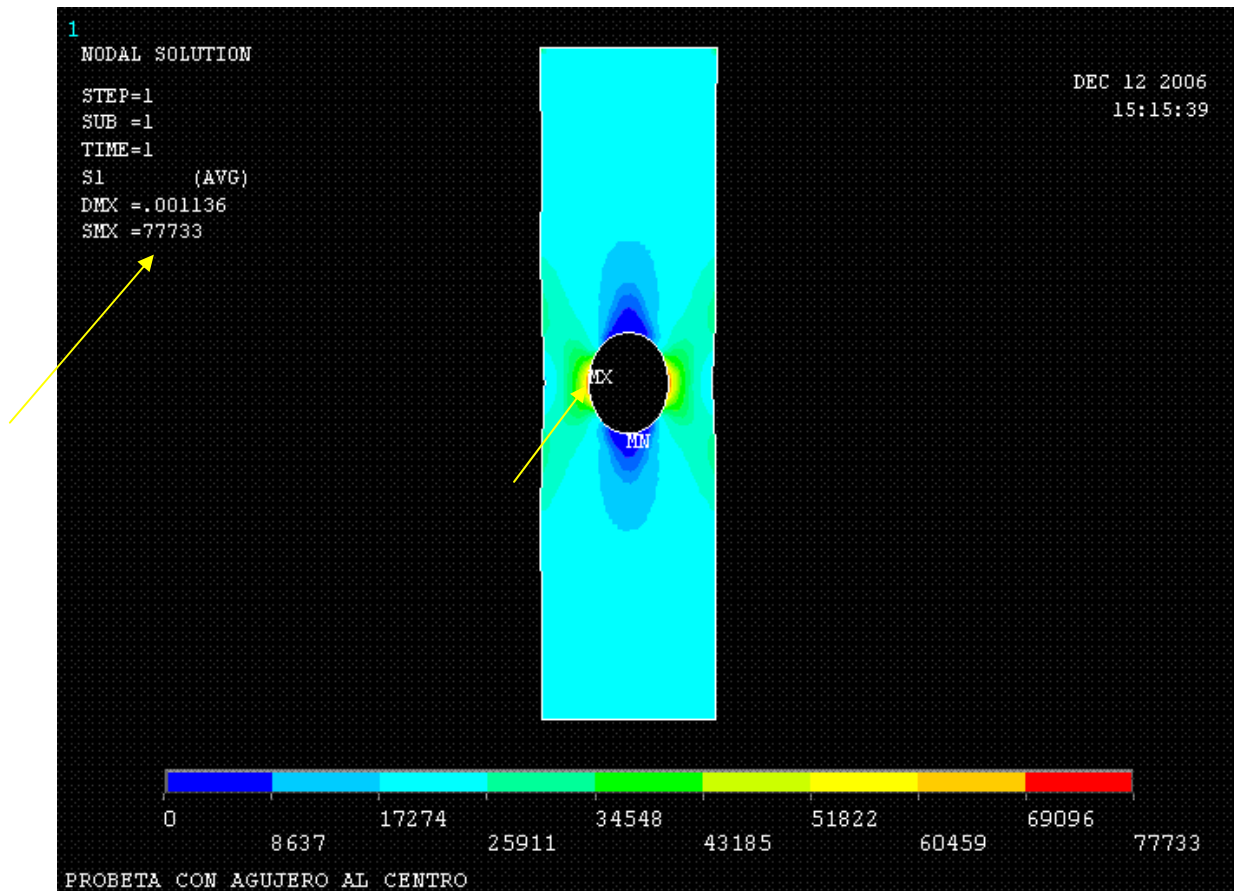


Aplicando la fórmula de fotoelasticidad tenemos:

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = \frac{180N / m \times 2.5}{.006m} = 75000Pa$$

Ahora vamos a realizar la comparación del análisis de esta probeta con elemento finito con el software ANSYS versión 9

La resolución de la probeta da el siguiente resultado de SMX con un valor de 77733 Pa.

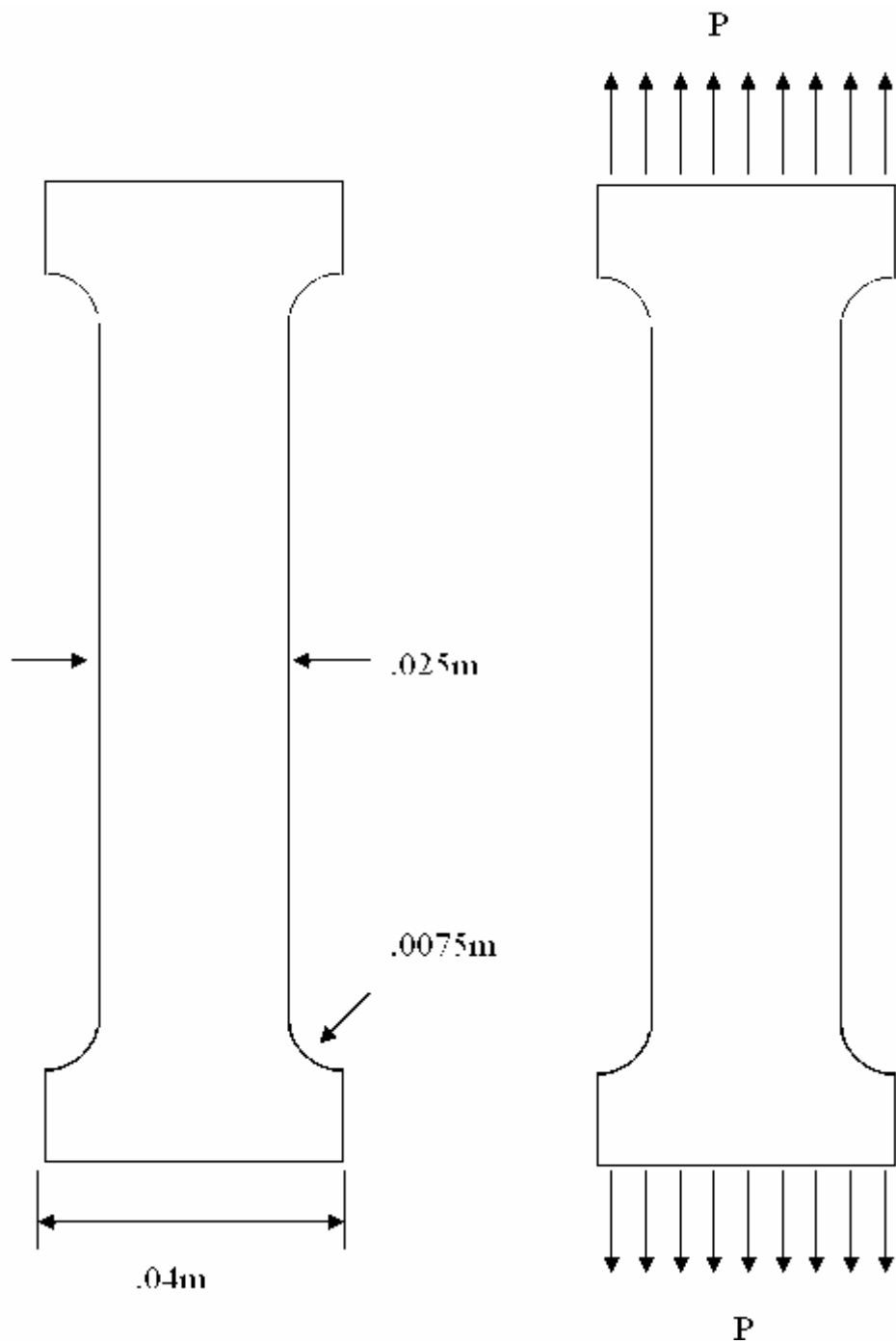


Con lo cual vemos que los tres resultados de nuestro problema son muy parecidos con los obtenidos con los métodos presentados antes que este, el que difiere un poco es el experimental debido a que para tener un valor más cercano a los otros 2 tenemos que interpolar.

Análisis de una probeta completa por los métodos analítico, práctico y por elemento finito.

A continuación se muestra la geometría de la probeta en cuestión y la forma en que será sometida a la carga.

$E = 2.7 \times 10^6$
 $\gamma = .48$
 $f = 180 \text{ N/mm}$
 $r = .0075 \text{ m}$
 $D = .04 \text{ m}$
 $d = .025 \text{ m}$
 $t = .006 \text{ m} = \text{espesor}$
 $P = 4.26735 \text{ N}$



A continuación determinaremos el valor del concentrador de esfuerzo mediante una de las tablas de Peterson (STRESS CONCENTRATION FACTOR, K_t FOR THE TENSION CASE OF A FLAT BAR WITH A SHOULDER FILLET).

$$\frac{r}{d} = \frac{.0075}{.025} = .3 \qquad \frac{D}{d} = \frac{.04}{.025} = 1.6$$

Con lo anterior no tenemos un valor muy preciso del concentrador de esfuerzos por lo tanto haremos uso de una interpolación.

D/d	K _t
1.5	1.56
1.6	
2	1.63

$$K_t = 1.56 + (1.63 - 1.56) \left(\frac{1.6 - 1.5}{2 - 1.5} \right) = 1.574$$

Ahora ya conocemos un valor más preciso de K_t con la fórmulas siguientes determinaremos el esfuerzo máximo.

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}} \quad \sigma_{nom} = \frac{P}{dt}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{4.26735N}{(.025m)(.006m)} = 28449Pa$$

Despejando la formula de K_t para determinar el esfuerzo máximo tenemos:

$$\sigma_{\max} = (1.574)(28449Pa) = 44778.726Pa$$

Ahora vamos a hacer el cálculo por el método práctico (fotoelasticidad). Para este tipo de análisis tenemos la siguiente fórmula general de fotoelasticidad:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{f}{h} n \quad \text{Donde } n \text{ es el valor de orden de franja.}$$

Aquí como solo estamos aplicando una fuerza axial tomamos σ₂ nulo
Si observamos el orden de franja en la parte crítica en donde se presenta la mayor concentración de esfuerzo y la comparamos con la tabla de colores podemos ver que el valor de n es de 1.63.

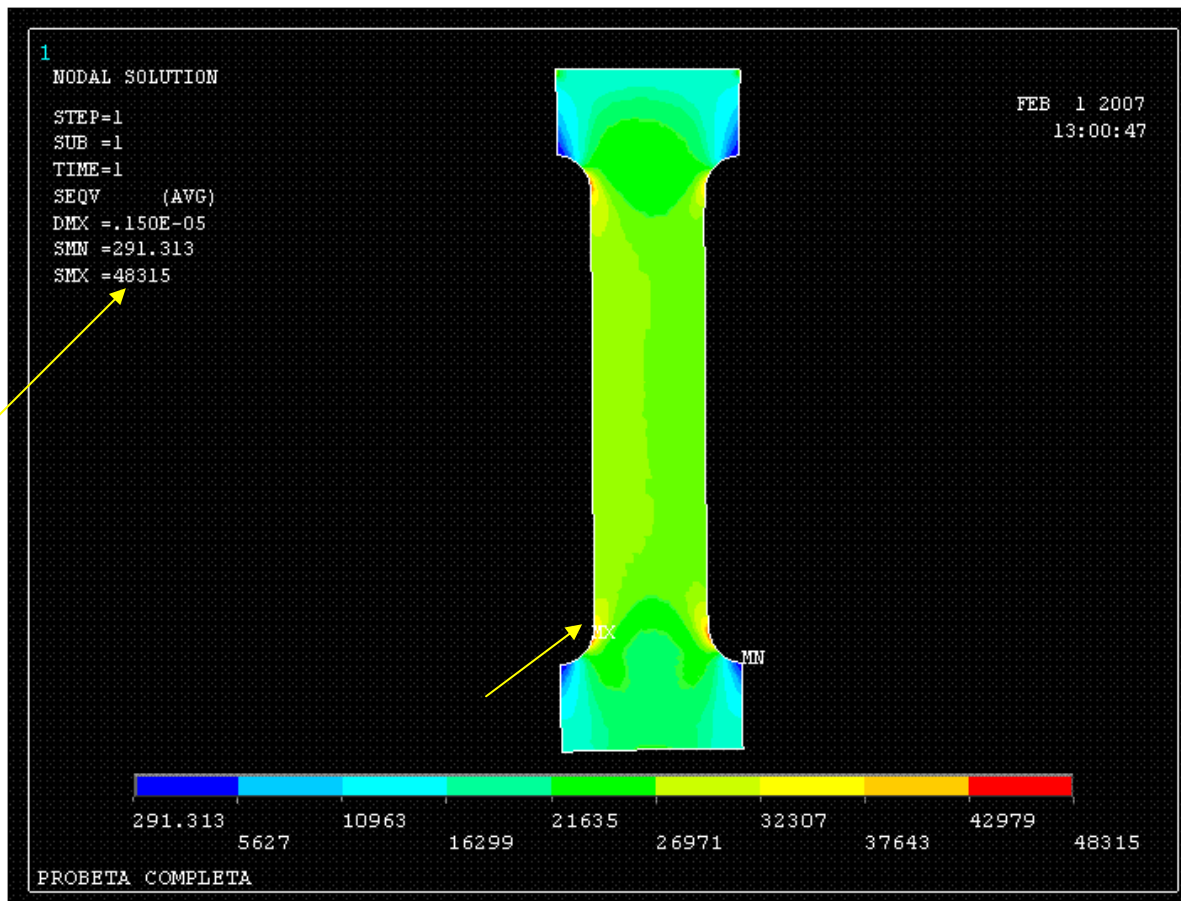


Resolviendo la ecuación obtenemos el siguiente resultado:

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = \frac{180N / m \times 1.63}{.006m} = 48900Pa$$

Ahora vamos a realizar el análisis de esta probeta con elemento finito con el software ANSYS versión 10.0.

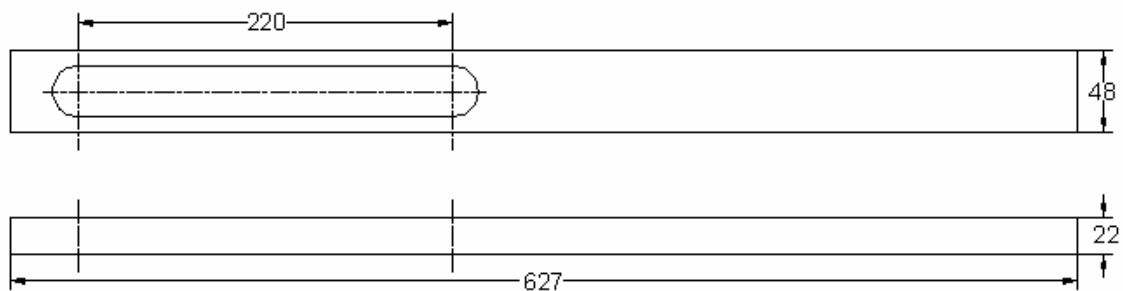
Con la resolución de la probeta obtenemos el siguiente resultado de SMX con un valor de 48315Pa.



Como podemos apreciar los resultados de los métodos de análisis son muy parecidos con lo cual podemos constatar que son confiables.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL MARCO DE CARGA PARA LA APLICACIÓN DE CARGAS COMBINADAS.

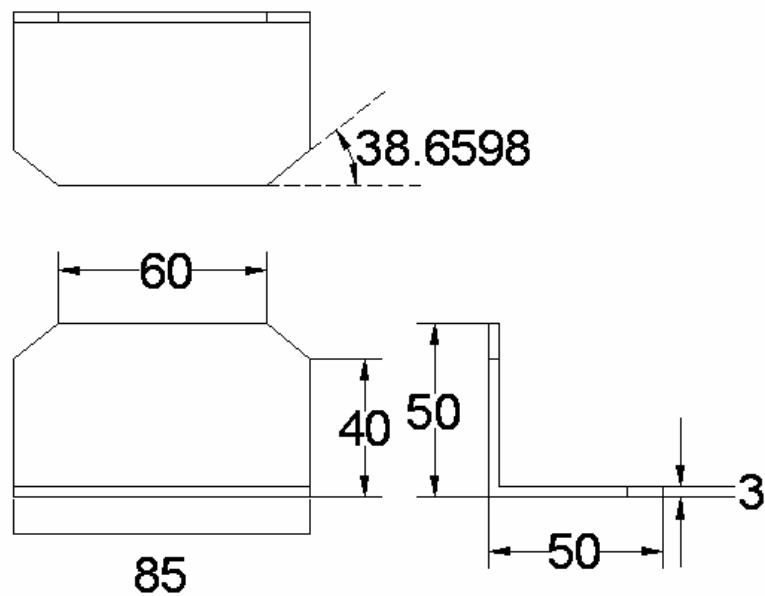
Soporte Vertical



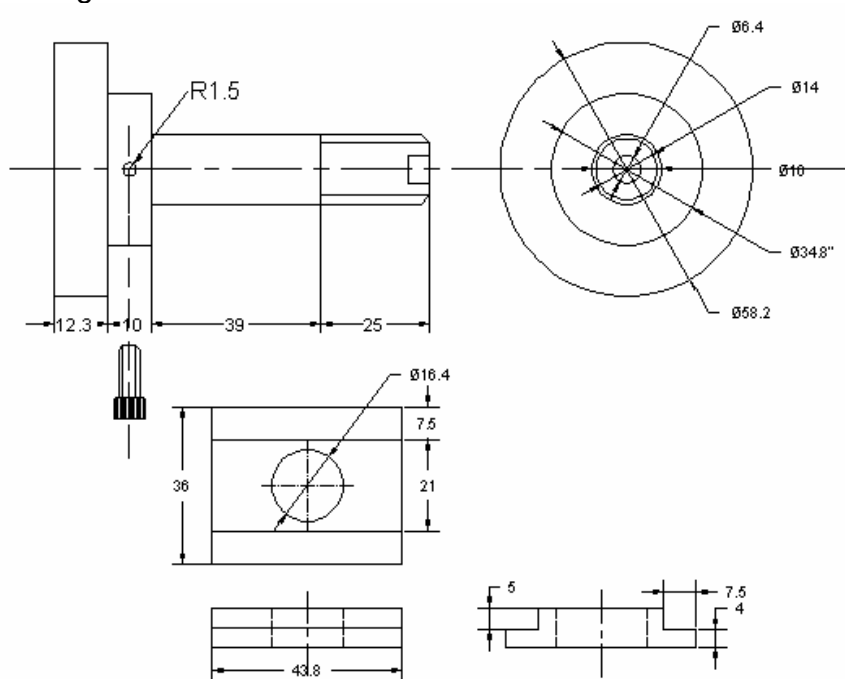
Soporte Transversal



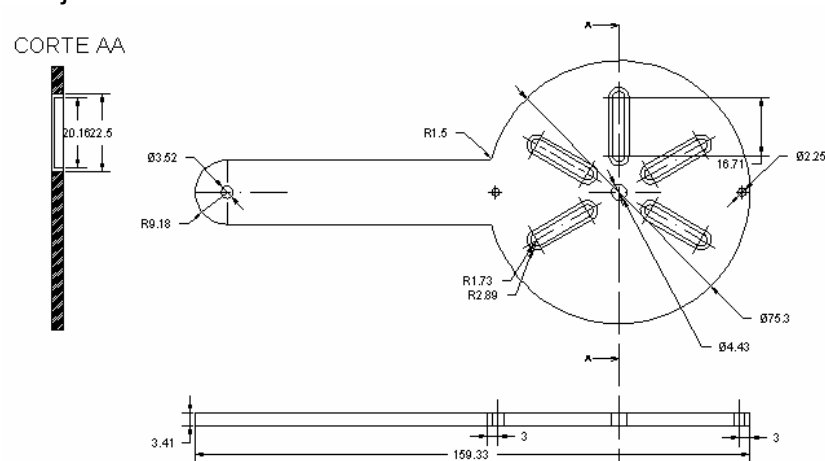
Placa de Soporte



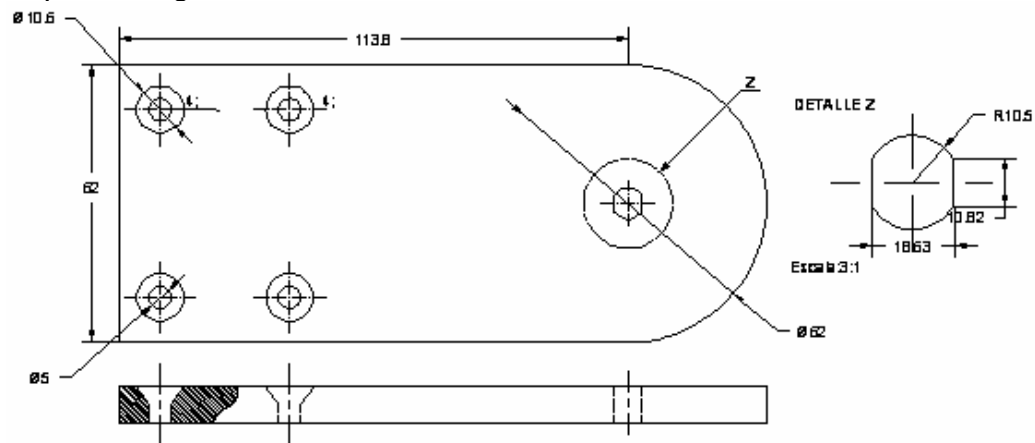
Tornillo de Carga



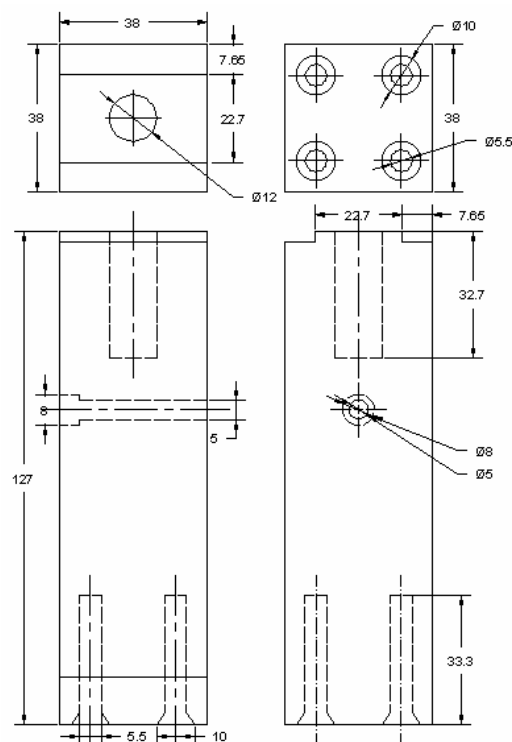
Mordaza de sujeción



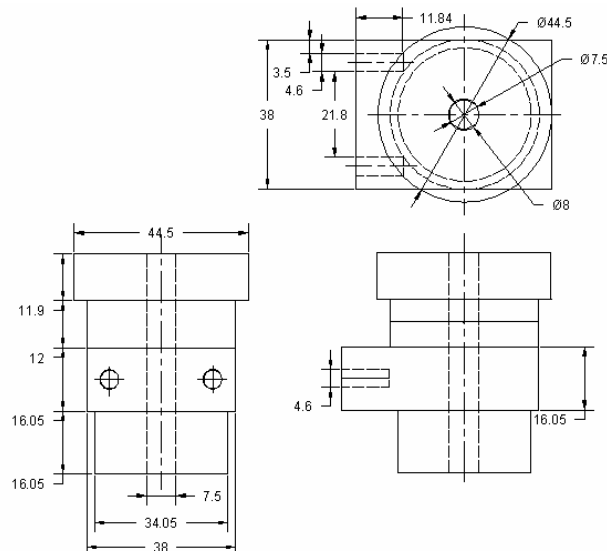
Placa para Asegurar Probetas



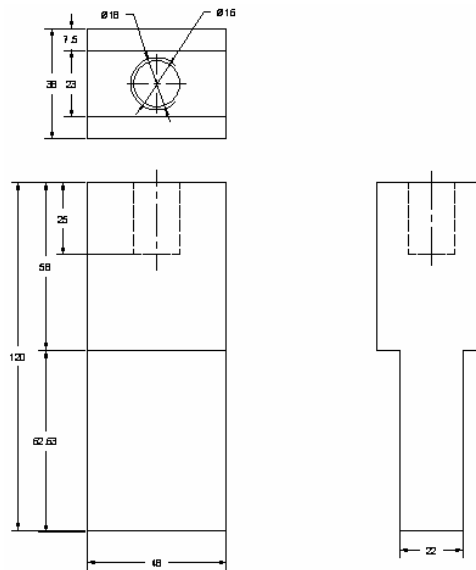
Guía para Tornillo



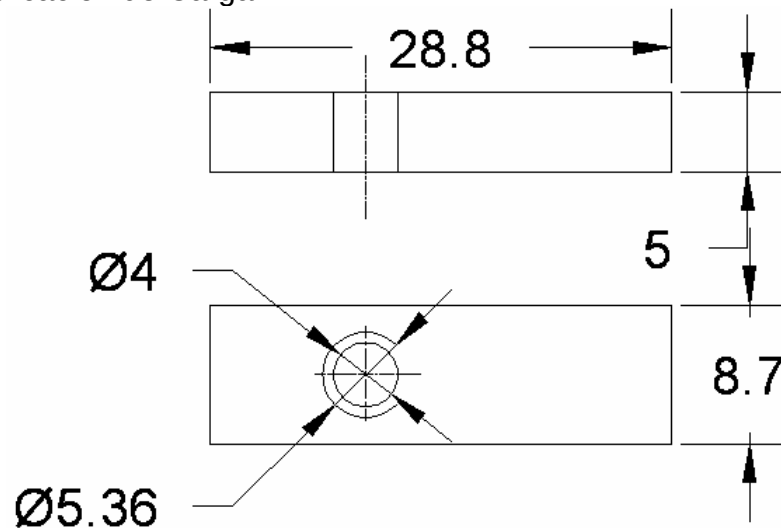
Tornillo de Carga



Guía para Mordazas



Placa de Aplicación de Carga



MARCO DE CARGA PARA PRUEBAS DE ESFUERZOS COMBINADOS

APLICACIÓN DE LAS CARGAS COMBINADAS A DIFERENTES PROBETAS.

Para el análisis experimental se aplicaron diferentes magnitudes de cargas a los diferentes tipos de probetas con concentradores de esfuerzo variables.

Características del material:

Polycarbonato.

Espesor: $b=0.235$ plg= 0.006 m

Valor de franja del material $f=40$ /psi/fr/in= 7004.72 Pa/fr/m

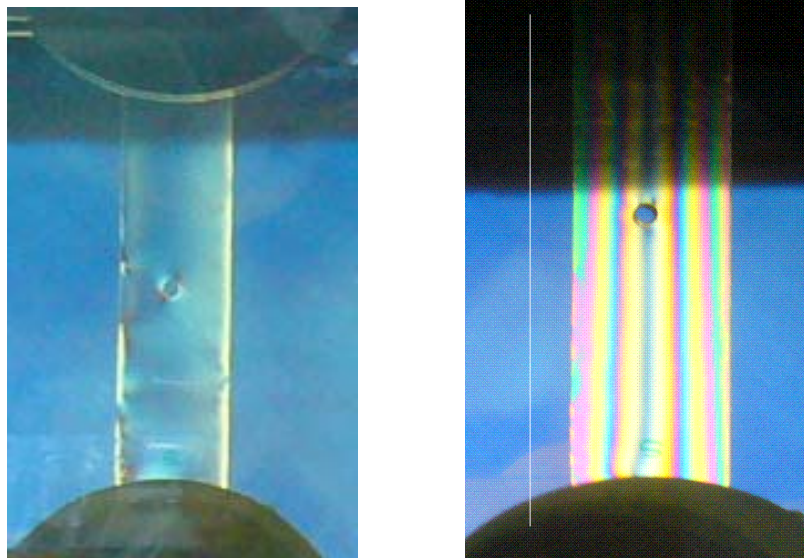
Relación de Poisson= 0.38

Aplicación de la carga se llevo de la siguiente manera:

- 1.- Mediante el brazo de las mordazas se ajusta el contacto del tornillo de carga con el brazo de la mordaza.
- 2.- Se aplica la carga girando el tornillo de carga, el cual mediante el desplazamiento proporciona una fuerza que somete a la probeta a una fuerza axial en tensión y un par, produciendo así esfuerzos combinados.
- 3.- Observando los colores de las franjas obtenemos el valor de “n”, con este valor se calcula el máximo valor de esfuerzo que se presenta en el concentrador.

A continuación se muestran los diferentes tipos de esfuerzos que se obtuvieron sobre los diferentes tipos de probetas con su respectivo concentrador.

Probeta con concentrador de 4 mm de diámetro.



Como se observa al aumentar la carga las líneas de esfuerzo son más intensas y cerca del concentrador aun más. Con la tabla de colores obtenemos el orden de franja que es:

$$n=5.4$$

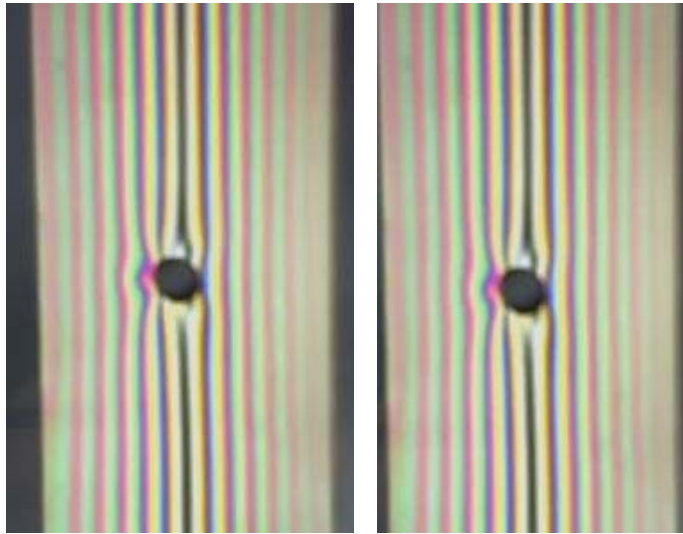
Con la ecuación:

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

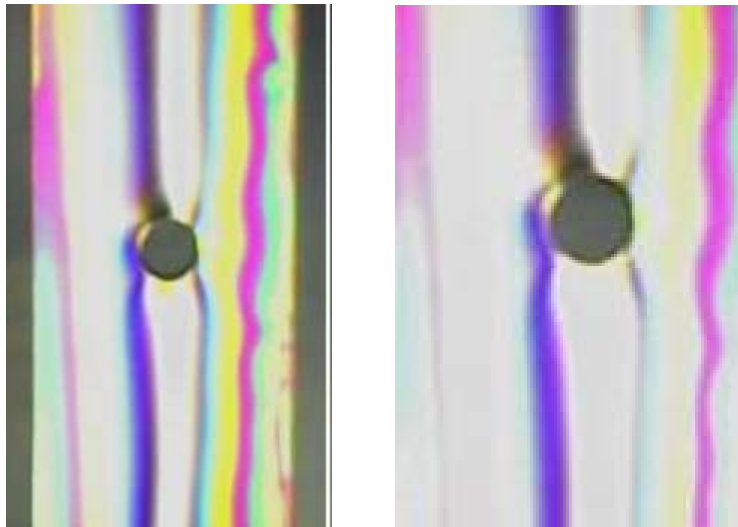
Determinamos el esfuerzo máximo que se obtiene:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\left(7004.72 \frac{N}{m^2}\right)(5.4)}{0.006m} = 6304.248 KPa$$

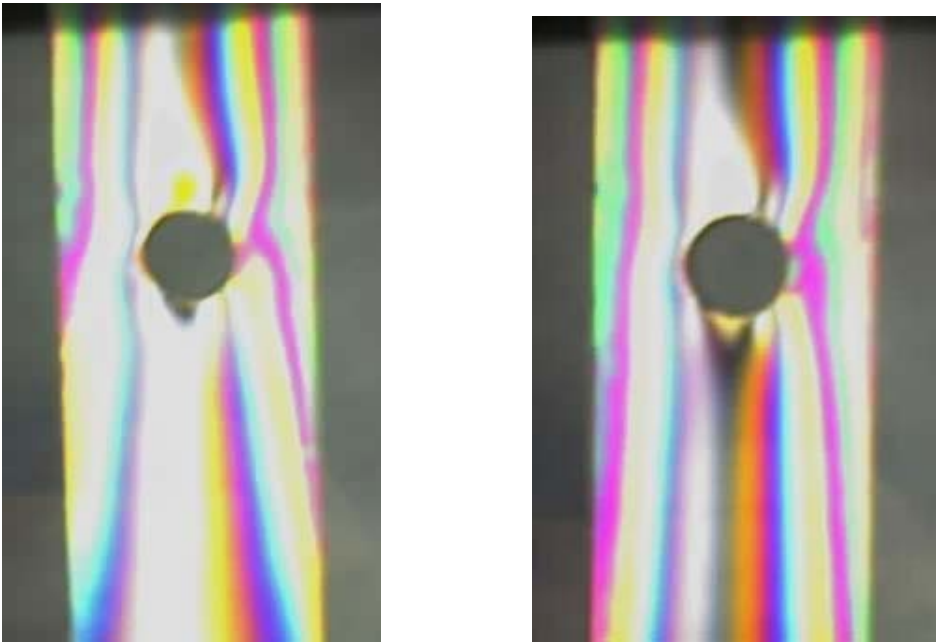
Probeta con concentrador de 6 mm de diámetro.



Probeta con concentrador de 8 mm de diámetro.



Probeta con concentrador de 10 mm de diámetro.



SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LAS PROBETAS.

STRESS INTENSITY (Cortante Máximo)

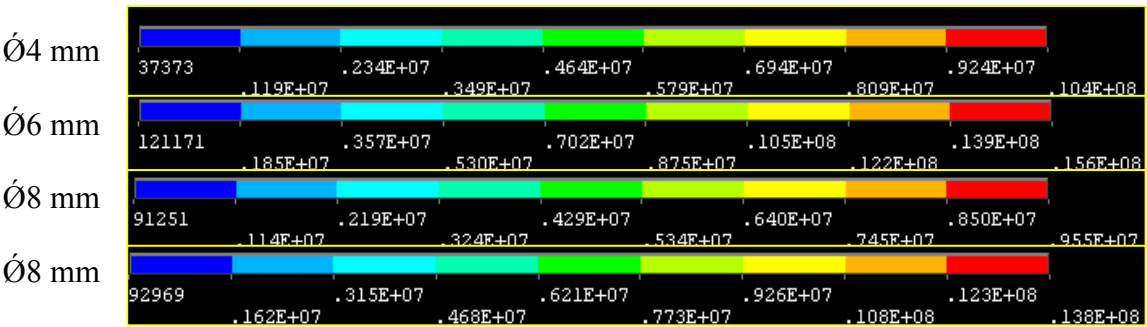
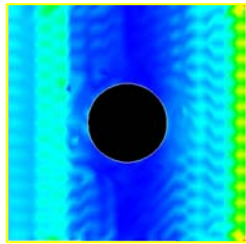
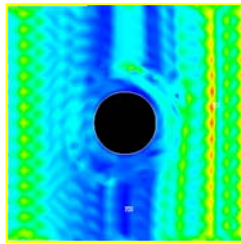
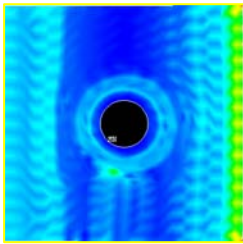
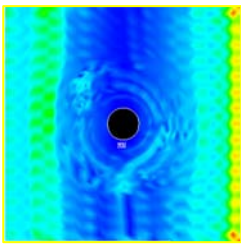
El momento aplicado de 1.95 Nm

Ø4 milímetros
milímetros

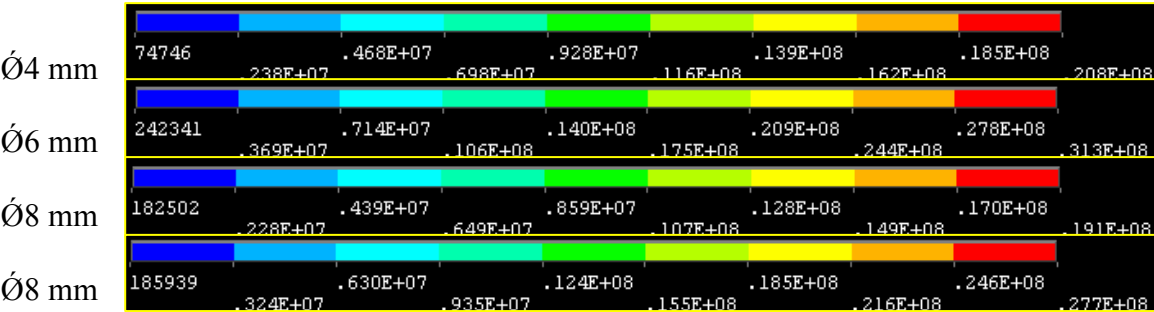
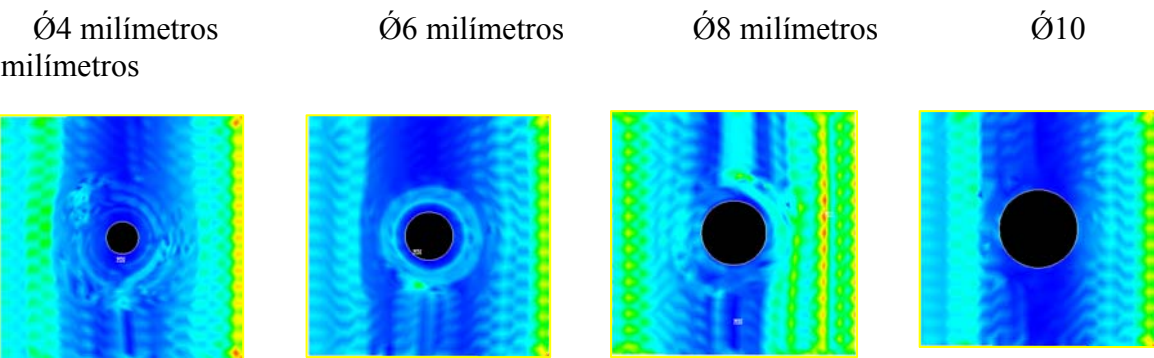
Ø6 milímetros

Ø8 milímetros

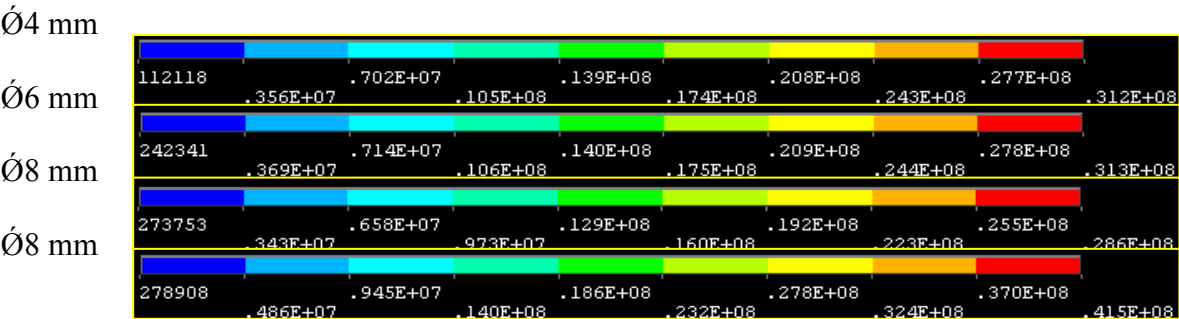
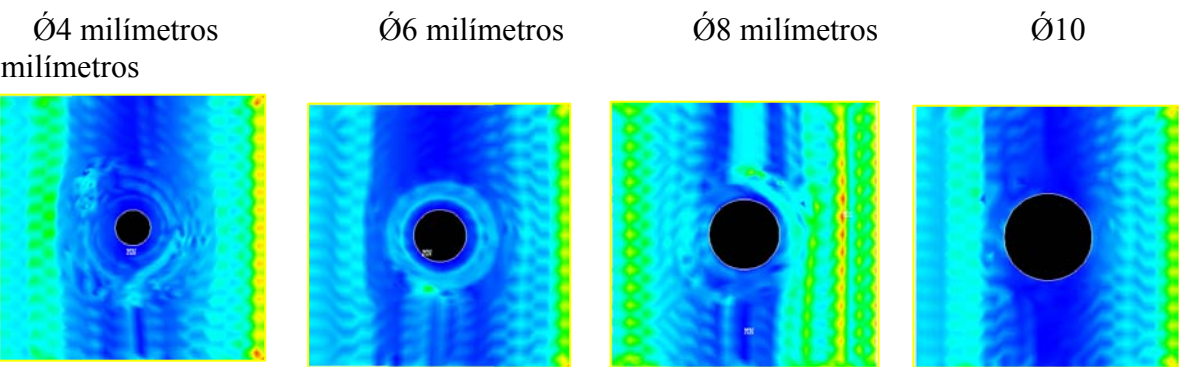
Ø10



El momento aplicado de 3.9 Nm



El momento aplicado de 5.95 Nm



RESULTADOS.

Se puede observar que las gráficas de Peterson sólo describen la situación de concentración de esfuerzos, cuando se aplica una sollicitación mecánica simple (Tensión-compresión o Flexión), sin embargo los resultados obtenidos a través del Trabajo realizado en el presente proyecto que contempla la aplicación de esfuerzos combinados, los valores de las graficas difieren, situación que de ser solo tomada en cuenta, conduciría a errores en el Diseño y hay que considerar que muchas veces el uso de lo diseñado está en contacto con seres humanos y una falla puede poner en peligro su vida, lo cual sería muy lamentable.

Se puede observar que los resultados obtenidos, tanto en forma experimental como numérica son muy aproximados.

Con la fabricación de este marco de carga se logra que los alumnos enriquezcan su vida académica, primero al darse cuenta: del fenómeno, de la diferencia entre las gráficas de Peterson con los resultados en elementos mecánicos sometidos a esfuerzos combinados y la obtención de resultados que pueden aplicar directamente en su vida profesional.