

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
Escuela de Ciencias de la ingeniería y tecnología
Unidad Valle de las Palmas



**VISUALIZACION DE ESFUERZOS MEDIANTE ANALISIS FOTOELASTICO PARA
PERFILES ALARES TIPO GA W-1 Y CLARK-Y**

Tesis que para obtener el título de:

INGENIERO EN AEROESPACIAL

Presentan:

Alejandro Hernández Talavera

Cinthia Paola Gerardo Medina

Director de tesis:

Dr. Oscar Adrián Morales Contreras

Tijuana, B.C.

Diciembre, 2017.

Índice

<u>Relación de figuras</u> -----	2
<u>Relación de tablas</u> -----	4
<u>Resumen</u> -----	5
<u>Capítulo 1: estado del arte</u> -----	10
1.1 La fotoelasticidad-----	11
1.2 Función de un polariscopio-----	12
1.3 Análisis experimental de esfuerzos por medio de la fotoelasticidad-----	13
1.4 Estudio de la distribución de esfuerzos sobre un polímero sometido a compresión, utilizando la técnica de fotoelasticidad-----	16
1.5 Proceso de moldeo con silicona blanca utilizando resina cristalina-----	19
1.6 Concepto de perfil aerodinámico-----	20
1.7 Nomenclatura y funcionamiento de los perfiles aerodinámicos-----	20
1.8 Clark Y-----	22
1.9 NASA GA (W)-1-----	23
<u>Capítulo 2: Construcción del modelo</u> -----	24
2.1 Maquinado en CNC-----	26
2.2 Acabado del modelo-----	29
2.3 Proceso de moldeo con silicona blanca-----	32
2.4 Modelos de resina cristalina-----	35
2.5 Ventajas de metodología desarrollada en comparación con la de otros autores-----	37
<u>Capítulo 3: análisis y resultados</u> -----	38
3.1 Banco de pruebas-----	39
3.2 Análisis de resultados en función de ángulo variable-----	45
3.3 Análisis de resultados en función de carga variable-----	49
<u>Conclusión</u> -----	55
<u>Referencias y bibliografía</u> -----	56
<u>Anexos</u> -----	59

Relación de figuras.

Figura 1.1. Modelo fotoelástico birrefringente-----	11
Figura 1.2. Fenómeno fotoelástico-----	12
Figura 1.3. Polariscopio plano en esquema-----	12
Figura 1.4. Modelos foto elásticos utilizados por Negrete (2009)-----	14
Figura 1.5. Polariscopio plano-----	14
Figura 1.6. Sujetadores del marco con carga-----	15
Figura 1.7. (A) Concentración de esfuerzos de 89 kg y (B) 204 kg-----	15
Figura 1.8. Probetas rectangulares en plexiglás-----	16
Figura 1.9 Polariscopio para cargas de compresión-----	17
Figura 1.10. Variación de las franjas isocromáticas al aumentar la fuerza f aplicada a la probeta. (a) 3400 N. (b) 6800 N. (c) 9800 N. (d) 13200 N. (e) 16700 N. (f) 20100N. (g) 23100 N. (h) 26500 N-----	18
Figura 1.11. Probeta con entalla de espesor 3mm y radios de b) 1.5 mm y c) 4.5 mm----	18
Figura 1.12. Nomenclatura de un perfil-----	21
Figura 1.13. Diseño del perfil CLARK Y-----	22
Figura 1.14. Modelo de Lockheed Vega-----	22
Figura 1.15. Diseño del perfil GA (W)-1-----	23
Figura 1.16. Modelo de Beechcraft Model 77 Skipper-----	23
Figura 2.1. Especificaciones de perfil alar Clark Y-----	25
Figura 2.2. Especificaciones de perfil alar NASA GA W-1-----	26
Figura 2.3. Placa de espuma de polícarburo instalada en la CNC-----	27
Figura 2.4. Corte de perfil en CNC-----	28
Figura 2.5. Pegando las piezas de poli carburo: (A) Aplicando pegamento en una sección, (B) Uniendo una pieza con otra-----	28
Figura 2.6. Lijado del modelo para un mejor acabado-----	29
Figura 2.7. Modelo con acabado fino-----	29
Figura 2.8. Mezcla de color car rellenos plástico con 2% de catalizador-----	30
Figura 2.9. Aplicación de bondo con cuña de hule: (A) Aplicación inmediata de bondo, (B) Aplicación de manos delgadas uniformes de bondo-----	30
Figura 2.10. Ala lista para lijado: (A) Ala con imperfecciones después de secado, (B) Último lijado para un mejor acabado-----	30
Figura 2.11. Aplicación de gelcoat sobre el ala con una brocha-----	31
Figura 2.12. Lijado en agua el ala con gelcoat: (A) Lija grado 100, (B) Lija grado 400, (C) Lija grado 600, (D) Lija grado 1200, (E) Lija grado 2000-----	32

Figura 2.13. Aplicación de esmalte acrílico transparente al ala-----	32
Figura 2.14. Aplicación de desmoldante en caja de madera-----	33
Figura 2.15. Mezcla de silicón: (A) Vaciar 1 kilo en recipiente, (B) Añadir diluyente, (C) Añadir catalizador-----	34
Figura 2.16. Vaciado de silicón al molde-----	34
Figura 2.17. Desmontaje de caja de madera-----	34
Figura 2.18. Corte de silicón con navaja y extracción de molde-----	35
Figura 2.19. Inyección de resina cristalina en molde de silicón-----	35
Figura 2.20. Extracción del ala del molde de silicón-----	36
Figura 2.21. Una sola aplicación de esmalte acrílico transparente-----	36
Figura 3.1. Especificaciones geométricas de zona de pruebas-----	39
Figura 3.2. Dimensiones del marco de la placa polarizada-----	39
Figura 3.3. Placa polarizada montada en el banco de pruebas-----	40
Figura 3.4. Placa de polarizado rectangular-----	41
Figura 3.5. Negatoscopio-----	41
Figura 3.6. Polariscope instalado en laboratorio de Aeroespacial-----	42
Figura 3.7. Centrado de cortador a la placa de aluminio-----	43
Figura 3.8. Diseño del ala en placa de aluminio: (A) Ala Clark Y, (B) Ala GAW-1-----	43
Figura 3.9. Barra de sujeción perforada-----	44
Figura 3.10 Brazo de palanca con tres agujeros coincidentes a la barra de sujeción-----	44
Figura 3.11. Modelo foto elástico fijo al banco de pruebas-----	44
Figura 3.12. Aplicación de carga al modelo Clark Y-----	45
Figura 3.13. Ala Clark Y (A, C, E) y ala GAW-1 (B, D, F), con una fuerza de 200 N a torsión: (A y B) 0°, (C y D) 45° y (E y F) 90°-----	46
Figura 3.14. División de análisis de ala: (A) Ala Clark Y y (B) Ala GA W-1 con un ángulo de 0°-----	47
Figura 3.15. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 0°-----	47
Figura 3.16 Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 45°-----	48
Figura 3.17. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 90°-----	49
Figura 3.18. Ala Clark Y (A, C, E) y ala GAW-1 (B, D, F), con un ángulo de 0° y con una fuerza de torsión: (A y B) 1 N, (C y D) 200 N y (E y F) 400 N-----	50
Figura 3.19. División de análisis de ala: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de 1N-----	51
Figura 3.20. Numero de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 1N	52
Figura 3.21. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 200N-----	53

Figura 3.22. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 400N-----	54
---	----

Relación de tablas.

Tabla 1.1. Características de franja isocromática-----	13
Tabla 1.2. Propiedades del plexiglás-----	16
Tabla 3.1. Matriz experimental para carga fija y ángulo variable-----	45
Tabla 3.2. Matriz experimental para ángulo fijo y carga variable-----	49

Resumen.

En este trabajo se utiliza la técnica de visualización de esfuerzos conocida como análisis foto elástico en dos modelos de perfiles alares diferentes, el CLARK Y, elegido porque es uno de los perfiles más utilizados en el aeromodelismo y de simple diseño, y el NASA GA W-1, que en la actualidad es un perfil se utiliza en los vehículos innovadores como el primer carro volador, aunque es un perfil con un diseño complejo, esta combinación permite obtener dos diferentes perspectivas utilizando un mismo método y así evidenciar diferencias significativas con el uso de esta técnica.

Los perfiles alares se maquinaron utilizando una CNC, posteriormente se construye el molde con silicón RTV-490, y finalmente con la metodología desarrollada en esta investigación se construyen los modelos en material foto elástico, que en este trabajo es resina cristalina de polylite 010-14-G. Los procesos de construcción y secado se describen detalladamente.

Los perfiles se sometieron a esfuerzos de torsión utilizando un banco de pruebas, que contenía un polariscopio, que permite observar la variación de colores en la superficie del perfil en cuanto se aplica un esfuerzo.

Los modelos fueron analizados a 3 ángulos diferentes, las cuales fueron 0° , 45° y 90° . Se observó que al incrementar el ángulo de visualización se presenta una mayor coloración en el material, pudiendo así observar el esfuerzo máximo y mínimo.

Además, los modelos fueron sometidos a 3 fuerzas diferentes, las cuales fueron 1N, 200N y 400N. Se observó que, al incrementar la carga en el modelo, el esfuerzo aumento proporcionalmente y en cada modelo se observó un comportamiento diferente.

Dedicatoria.

Desde niña creo que el esfuerzo, la disciplina, el respeto y la constancia son bases para obtener tus metas, pero se acompaña de diversas personas y eventos en la vida , la más importante para mi han sido mis padres y hermanos que han forjado mi carácter , mi capacidad reflexiva y toma de decisiones, gracias a mis pilares he podido alcanzar muchas de mis metas, les dedico este esfuerzo ya que ellos fueron los que me alentaron a superarme, también un dedicatoria especial a mis profesores que fueron dándome formación profesional a través de sus cátedras y sus charlas, y por ultimo a todas esas personas que no se rinden ante los obstáculos y cumplen con sus metas.

Cinthia Paola Gerardo Medina

Dedicatoria.

En muchas ocasiones tenemos ideas brillantes pero uno no las comparte, este tipo de investigación, va dedicado para todos los estudiantes que buscan descubrir, innovar, inventar, seguir adelante y mejorar su entorno.

Alejandro Hernández Talavera

Agradecimientos.

A **Yahweh mi Elohim** pues él me ha dado la sabiduría y el entendimiento para lograr esta área de mi vida, además de darme fuerza en los momentos más difíciles.

A mí madre **Elvia Rosina Medina**, por su amor, paciencia y entrega, la amo para siempre.

A mi padre **Luis Alfonso Gerardo Sánchez** por su amor, paciencia y entrega, lo amo para siempre.

Un agradecimiento especial a mi compañero y amor **Alejandro Hernández Talavera** por su apoyo y dedicación en este trabajo, por su amor y paciencia durante nuestro transcurso en la universidad.

De forma muy respetuosa a mis asesores de tesis, el **Dr. Oscar Adrián Morales** y al **M.C. Antonio Paz González**, por asesoría, apoyo y dedicación para llevar a cabo este documento.

A la institución **Ecitec** y su personal que me apoyo durante mi carrera.

Al **Lic. Marco Alfonso Lepe** por brindarme su apoyo y las instalaciones del centro de investigaciones y desarrollos L.P. Bond.

Cinthia Paola Gerardo Medina

Agradecimientos.

Le doy gracias a mi creador **YAHWEH Elohim**, que me ha dado para todas las necesidades que se han presentado para que este trabajo se concluya.

Gracias a **mi mama Sara Talavera Chávez** y a **mi papa Ángel Hernández Salazar**, al igual que a mis familiares que me apoyaron en el transcurso de esta investigación para poder resolver cualquier necesidad o falta de recursos para terminar esta investigación.

Mis maestros **Dr. Oscar Adrián Morales** y **Mr. Antonio Paz González** que estuvieron al pendiente de este trabajo que estuvieron con el apoyo de su tiempo para guiarnos y que todo saliera bien.

Cinthia Paola Gerardo Medina le agradezco por su amor, su comprensión, tiempo y paciencia, que estuvo ahí para cualquier necesidad no solo en esta tesis si no en mi vida.

Alejandro Hernández Talavera

CAPITULO 1

“Si es que he llegado a ver más lejos, fue porque me he subido en hombros de gigantes”

Isaac Newton

Capítulo 1: estado del arte.

1.1 La fotoelasticidad

En un estudio Aviña (1997) menciona que el método fotoelástico empezó a utilizarse desde hace mucho tiempo, no obstante, su utilización permanece vigente y ha sido de gran importancia en los últimos 50 años. El principio del método es aprovechar la propiedad que tienen algunos sólidos transparentes.

Dally y Riley (1978) expresan que algunas sustancias isotrópicas, cuyas propiedades ópticas no dependen de la dirección, pueden adquirir la característica de birrefringentes temporales u ópticamente activas por influencia de agentes externos. La birrefringencia variable, causada por los esfuerzos, hace que la luz aparezca con distinta intensidad en diferentes puntos de un modelo. Este fenómeno forma las bases del método fotoelástico.

Swindell (1975) establece que el fundamento de esta técnica experimental se encuentra en el descubrimiento del Inglés David Brewster, quien en 1815 descubrió el fenómeno de la birrefringencia temporal.

En un estudio Burguer (1987) dice que el cambio relativo en el índice de refracción es proporcional a la diferencia de las deformaciones principales y publicó sus observaciones acerca de que los materiales transparentes exhibían patrones de colores al ser cargados y examinados con luz polarizada.

Estrada (1993) ha descubierto en un estudio que Maxwell, comparó los esquemas fotoelásticos con las soluciones analíticas, la relación entre los índices de refracción y la birrefringencia temporal de algunos materiales la formuló en 1852, pero no fue hasta 1916 que se dio importancia al principio de Brewster.



Figura 1.1. Modelo fotoelástico birrefringente.

En el método de fotoelasticidad se utilizan las propiedades de la luz polarizada, la cual se expone en el siguiente punto.

Soto (2013) expresa que los materiales birrefringentes como el acrílico y el plexiglás entre otros, son aquellos que se comportan óptimamente isotrópicos cuando se encuentran libres de esfuerzos, pero presentan un comportamiento anisotrópico al ser sometidos a esfuerzos, generando un cambio en el índice de refracción proporcional al esfuerzo. Es en este fenómeno en el que se fundamenta la fotoelasticidad, ver figura 1.2.

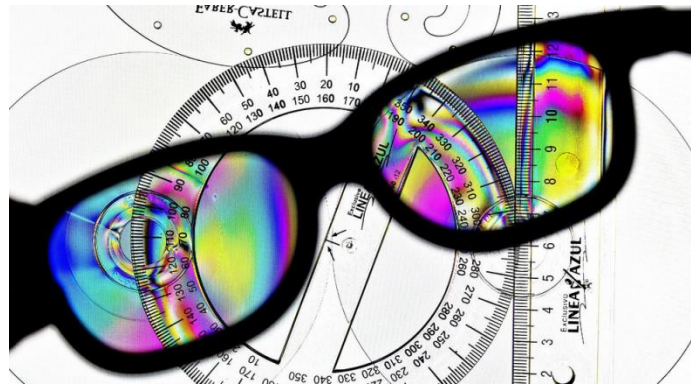


Figura 1.2. Fenómeno fotoelástico.

1.2 Función de un polariscopio

En la figura 1.3 se representa esquemáticamente un polariscopio plano. Un haz de luz que se origina en L pasa a través de un P polarizado, luego a través del modelo transparente M que modifica la luz de acuerdo con la tensión.

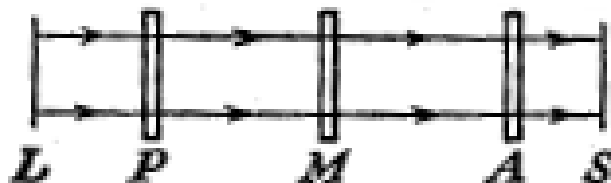


Figura 1.3. Polariscopio plano en esquema.

Tabla 1.1. Características de franja isocromática.

Color	Declaración relativa aproximada (longitud de onda)		Numero de orden (N)
	nm	$\ln \times 10^{-6}$	
Negro	0	0	0
Gris	160	6	0.28
Blanco	260	10	0.45
Amarillo pálido	345	14	0.60
Naranja	460	18	0.80
Rojo apagado	520	20	0.90
Morado (color de paso)	570	22.7	1.00
Azul profundo	620	24	1.08
Verde-azul	700	28	1.22
Verde-amarillo	800	32	1.39
Naranja	935	37	1.63
Rojo rosa	1050	42	1.82
Morado (color de paso)	1150	45.4	2.00
Verde	1350	53	2.35
Verde-amarillo	1440	57	2.50
Rojo	1520	60	2.65
Rojo-verde	1730	68	3.00
Transición			
Verde	1800	71	3.10
Rosa	2100	83	3.65
Rosa-verde	2300	90.8	4.00

A continuación, se presentan los resultados de investigaciones que utilizan la técnica de fotoelasticidad para análisis de esfuerzos.

1.3 Análisis experimental de esfuerzos por medio de la fotoelasticidad

En la investigación realizada por Negrete (2009) se analizan los esfuerzos sobre modelos utilizando la técnica de fotoelasticidad, los modelos utilizados van desde un rectángulo hasta una viga como se muestra en la figura 1.4. Para la construcción de los mismos Negrete utilizó una placa de acrílico como material fotoelástico.

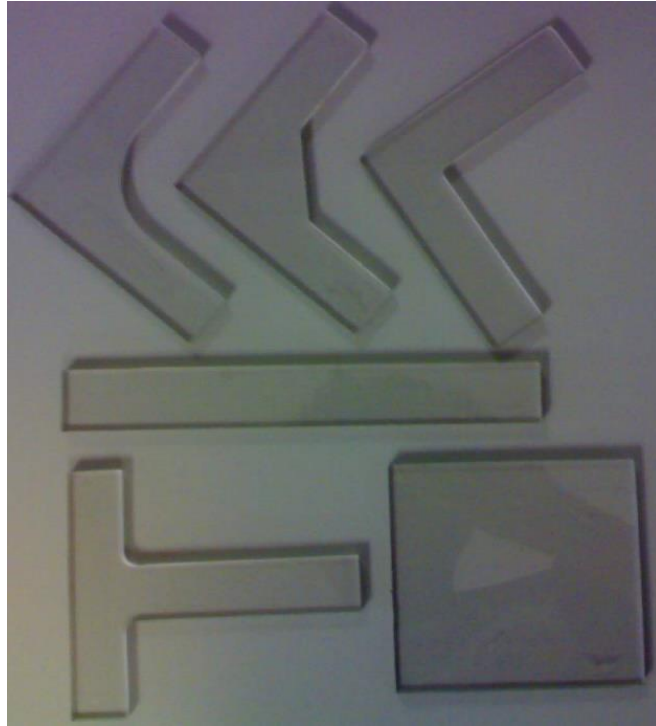


Figura 1.4. Modelos foto elásticos utilizados por Negrete (2009).

En su experimento, Negrete (2009) utilizó un polariscopio plano el cual consta de los elementos siguientes: luz blanca, luz negra-monocromática, polarizador, lámina de $\frac{1}{4}$ de onda, analizador y lector de carga, tal como se muestra en la figura 1.6. Para realizar el experimento los modelos se sujetan al polariscopio por los extremos y se aplica carga axial a compresión, tal como lo evidencia en la figura 1.7.

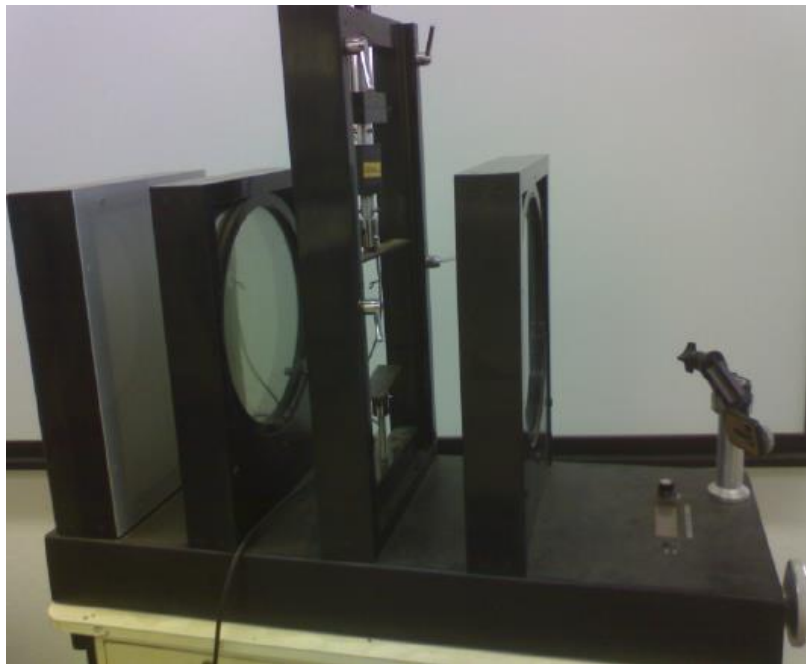


Figura 1.5. Polariscopio plano.

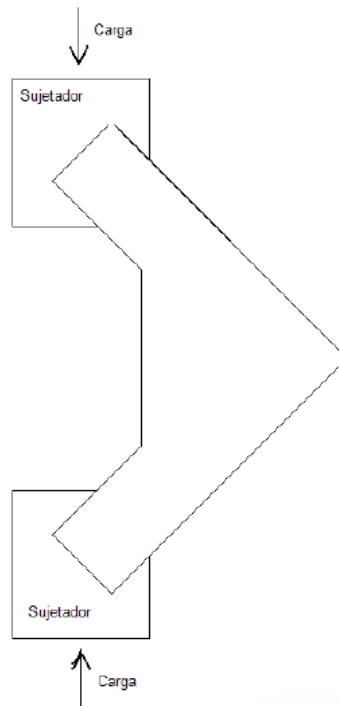


Figura 1.6. Sujetadores del marco con carga.

Una vez que el modelo se coloca en el polariscopio y se somete a esfuerzos, se emite una luz blanca que pasa a través del modelo, si las intensidades del esfuerzo principal no son iguales, entonces las propiedades ópticas en los dos planos principales serán diferentes, y la velocidad de transmisión en un plano principal será mayor que en el otro. Esto dará lugar a una diferencia de fase entre las dos vibraciones de los componentes, resultando una variación de colores para el observador. Los resultados que se obtienen del experimento de Negrete (2009), presentan líneas de colores llamadas isóclinas (o de separación), mostradas en la figura 1.7, en el inciso A), el modelo analizado se somete a una carga puntual de 89 kg y en el inciso B) a una de 204 kg.

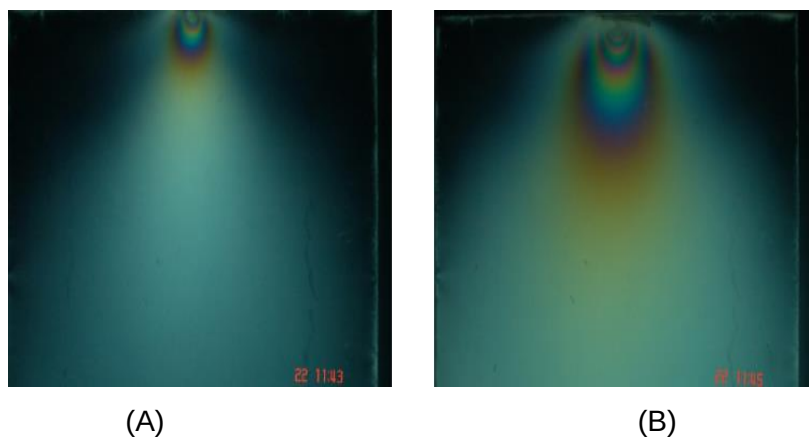


Figura 1.7. (A) Concentración de esfuerzos de 89 kg y (B) 204 kg.

En su experimento Soto utilizó un polariscopio circular integrado a un sistema de compresión manual como se muestra en la figura 1.10. El cual se compone de los siguientes elementos:

1. Película de polarización lineal (Polarizador y analizador) A flash Photonics PF-006
2. Montadas sobre platos giratorios provistos de divisiones cada 10°
3. Película de cuarto de onda A flash Photonics WF-OG4-WE. Montadas sobre platos giratorios provistos de divisiones cada 10°
4. Sistema de compresión mecánica manual, (tornillo de potencia, elementos de compresión superior e inferior, estructura metálica)
5. Torquímetro de aguja TOOLCRAFT. 140 Lb-Pie
6. Cámara fotográfica Samsung HD 14,2 Mp 5X
7. Fuente luz blanca monocromática 7 leds 220VAC, 50-60 Hz
8. Pantalla blanca.

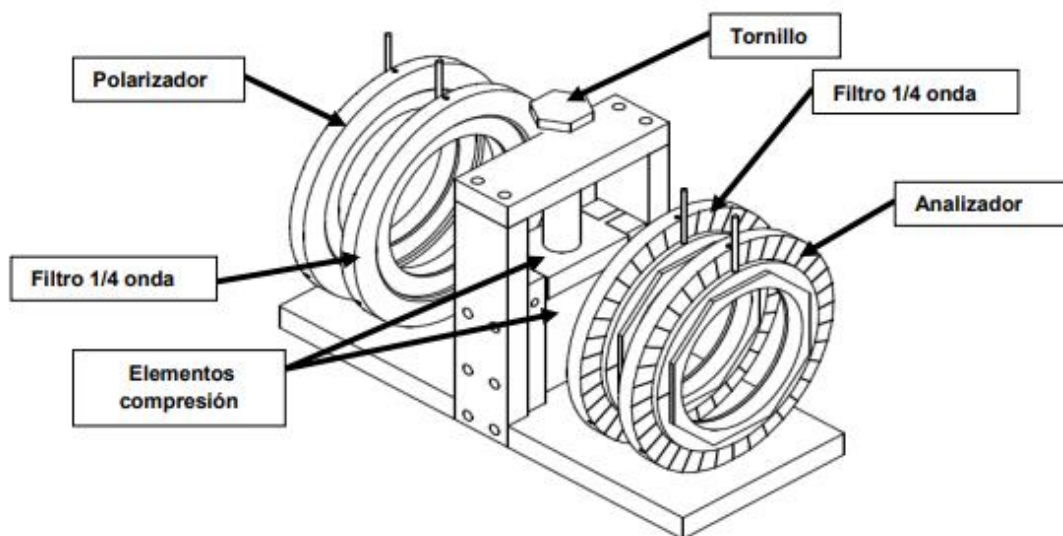


Figura 1.9. Polariscopio para cargas de compresión.

En la figura 1.10 se muestran los resultados del experimento, y se observa cómo varían las franjas isocromáticas a medida que se incrementa la fuerza de compresión sobre la probeta, identificando claramente que, para cada caso, la franja isocromática en la sección media de la probeta tiende a ser constante.

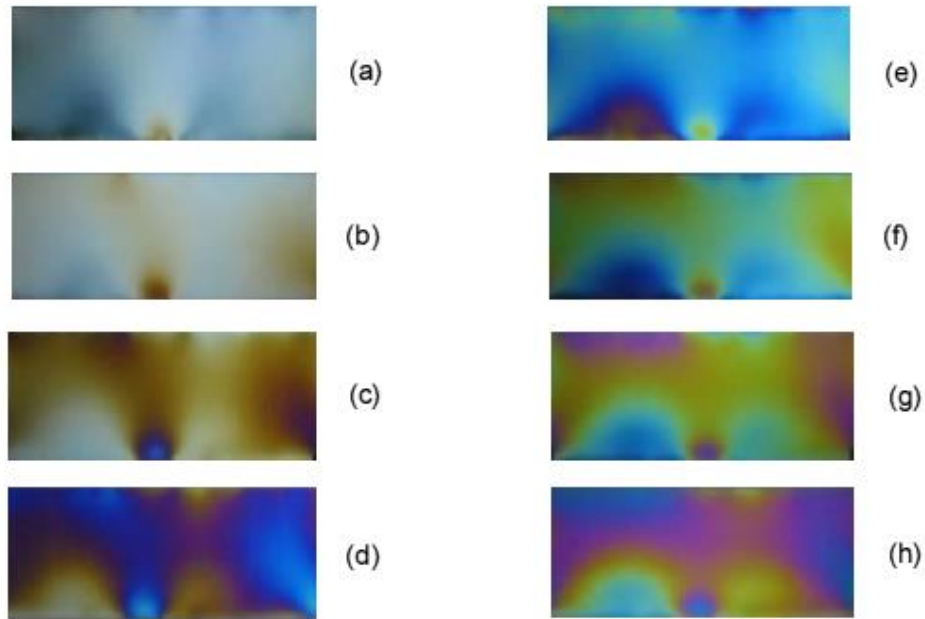


Figura 1.10. Variación de las franjas isocromáticas al aumentar la fuerza f aplicada a la probeta. (a) 3400 N. (b) 6800 N. (c) 9800 N. (d) 13200 N. (e) 16700 N. (f) 20100 N. (g) 23100 N. (h) 26500 N.

Para analizar la concentración de esfuerzo debido a una discontinuidad, Soto analizó cualitativamente las probetas. En el primer caso el autor considero una probeta con entalladura de espesor 3 mm y radios de 1.5 mm y 4.5 mm sometida a compresión, como se muestra en la figura 1.11.

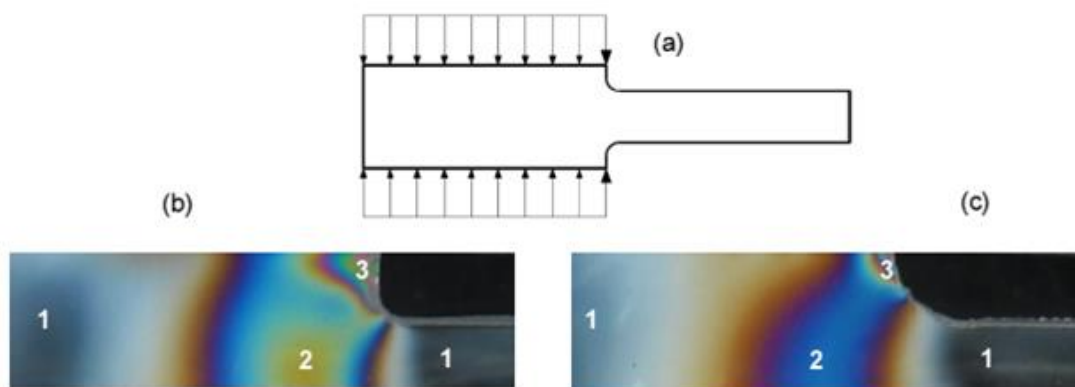


Figura 1.11. Probeta con entalla de espesor 3mm y radios de b) 1.5 mm y c) 4.5 mm.

De la figura anterior se tienen las siguientes consideraciones:

-Para los dos radios evaluados las secciones marcadas con 1, se determina secciones de esfuerzo nulo.

-Las franjas isocromáticas avanzan en los dos sentidos, hasta encontrar un esfuerzo concentrado en la sección media de la probeta marcada con 2.

-La sección marcada con 3 correspondiente a la entalla, presenta la mayor concentración de esfuerzo de la probeta, ya que para los dos radios se sobrepasa la segunda franja, lo que esta región está más propensa a fallar, bien sea por fractura o por deformación plástica.

-La probeta de 1.5 mm muestra mayor concentración de esfuerzo en la entalla, ya que esta tiene mayor número de franjas isocromáticas que la probeta de radio 4.5 mm

1.5 Proceso de moldeo con silicona blanca utilizando resina cristalina

En 2015, Geraldine establece que hay una técnica para realizar moldes de silicona para figuras en 3D, sobre todo aquellas elaboradas con resinas, bien sea acrílicas o poliuretanos. La mayoría de los moldes que se usan para la elaboración de figuras fueron hechos con una silicona blanca para moldes, generalmente se prefiere la que viene acompañada de un catalizador, el objetivo principal es que esta se trabaja en estado líquido, que permite cubrir toda la pieza, también se trabajan con figuras con detalles complejos y elaborados, consiguiendo así réplicas.

Para tener una mezcla homogénea, Geraldine (2015) indica que se requiere:

1. Silicona con catalizador.
2. Una báscula para pesar cantidades.
3. Envases para mezclar.

El método de preparación de la silicona blanca se enlista a continuación:

1. Se prepara la báscula para comenzar a medir las cantidades a usar.
2. Se añade la cantidad necesaria de silicona y tomar nota del peso, por cada kilo de silicona se agregan 20 gramos de catalizador.
3. Es importante medir bien las cantidades, ya que por exceso o defecto puede perderse la mezcla, se bate la mezcla y quedara lista para usarse en cualquier molde.

Modo de preparación de moldes para figuras en 3D:

1. Conseguir un taco de madera un poco más grande que la pieza, hacer unas paredes con retazos de cartón, si es posible tapar cada ranura con plastilina para evitar derrames.
2. Cuando esté firme el recipiente, añadir un poco de silicona a la base de la pieza y pegar el taco, esto evitará que se mueva durante el vaciado.
3. Como ya se indicó en el modo de preparación de la silicona, se vierte la mezcla sobre la pieza y dejar secar por 24 horas.
4. Finalizado este tiempo, se retira las paredes de cartón, luego sacar el taco de madera y con unas tijeras abrir un pequeño agujero, esto es por la parte de arriba, que luego servirá para llenar con la resina.
5. Ahora se tiene el molde para reproducir la figura, bien sea con resina o poliuretano.

1.6 Concepto de perfil aerodinámico

En 2001, Anderson establece que un perfil aerodinámico es una sección de cualquier ala, cortada paralelamente a la cuerda de la misma ala, así pues existe una clasificación general para los perfiles, los cuales se dividen en dos grandes grupos según el mismo autor: los perfiles simétricos y los asimétricos; en donde uno simétrico es aquel que no tiene combadura (línea de curvatura media y cuerda se cortan exactamente por la mitad), mientras que uno asimétrico no cumple con las características antes mencionadas, es decir en este tipo de perfiles si existe alguna clase de combadura. Anderson (2001) ha descubierto en un estudio reciente que las diferencias en el rendimiento se acentúan más que las geométricas, porque el perfil simétrico tiene bajo costo y es de fácil construcción a diferencia de uno asimétrico. Mientras que los asimétricos presentan características superiores en cuanto a la estabilidad a altos ángulos de ataque, dando como resultado que generen mayor sustentación además de generar buenas prestaciones en los casos de pérdida de sustentación.

1.7 Nomenclatura y funcionamiento de los perfiles aerodinámicos

En 2010, Yuri expresa que estas son las definiciones de un perfil aerodinámico, ver figura 1.12.

- Cuerda: Línea recta que relaciona el borde de ataque con el borde de salida.
- Borde de ataque (B.A): Primer punto del perfil en donde el aire impacta.
- Borde de salida (B.S): Último punto del perfil por donde el flujo pasa.

- Radio de curvatura del borde de ataque: Radio de un círculo que es tangente al extradós e intradós (véase definición de extradós e intradós abajo) cuyo centro está situado en la línea de curvatura media, y pasa por que borde de ataque, este es el parámetro principal que define el borde de ataque.
- Espesor máximo: Es una medida perpendicular a la cuerda, cuya distancia es ser perpendicular a la cuerda. Esta medida se expresa en porcentaje de la cuerda, sus valores son del rango que oscila en 10%.
- Posición del espesor máximo: Distancia del borde de ataque hasta la vertical que representa el espesor máximo del perfil de curvatura media y la cuerda, este valor se da en porcentaje.
- Ordenada máxima desde la línea de curvatura: Distancia máxima desde la línea de curvatura media y la cuerda, este valor se da en porcentaje.
- Extradós: Superficie exterior del perfil.
- Intradós: Superficie interior y más pequeña del perfil.
- Línea de curvatura media: Línea que mide la curvatura del perfil y está a la misma distancia con respecto al extradós y el intradós, en caso de que esta línea esté por debajo de la cuerda, se dice que es negativa, si está por encima, entonces es positiva, por último, en el caso de que ocurran ambas situaciones, se dice que el perfil tiene doble curvatura.
- Posición de la ordenada máxima: Distancia que va del borde de ataque hasta donde se encuentra la ordenada máxima de la línea de curvatura, esta distancia se da también en porcentaje.
- Ángulo de ataque: Es aquel que se encuentra entre la línea de la cuerda y la dirección del viento relativo.

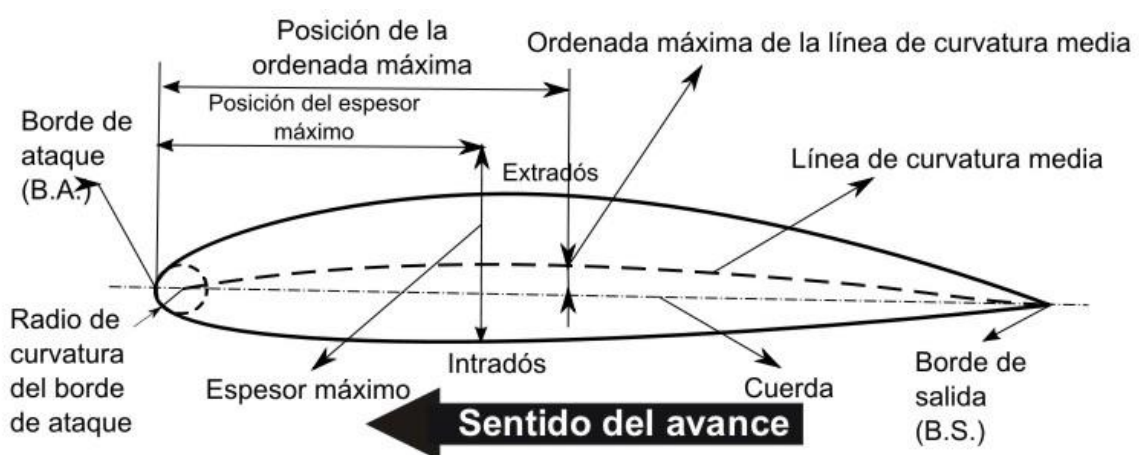


Figura 1.12. Nomenclatura de un perfil.

1.8 Clark Y

El ala Clark Y es un perfil aerodinámico que se utiliza ampliamente en los diseños generales de aeronaves, ver figura 1.13. El perfil fue diseñado en 1922 por Virginio E. Clark. El Lockheed Vega es un ejemplo del perfil Clark Y, utilizado en la práctica, este modelo se muestra en la figura 1.14. Para muchas aplicaciones, el Clark Y ha sido adecuada; que da un rendimiento global satisfactorio con respecto a su relación de elevación de arrastre. Sin embargo, la superficie inferior plana es sub-óptima desde un punto de vista aerodinámico, y rara vez se utiliza en los nuevos diseños.

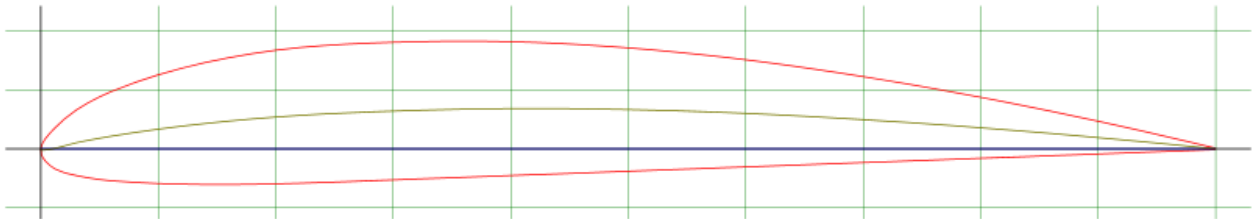


Figura 1.13. Diseño del perfil CLARK Y.



Figura 1.14. Modelo de Lockheed Vega.

1.9 NASA GA (W)-1

NASA GA W-1 (2017) indica que el programa de la superficie de sustentación de baja velocidad se inició en 1972 con el desarrollo de la GA (W) -1 perfil aerodinámico que se puede ver en la figura 1.15, el cual fue perfeccionado analíticamente con un código de computadora. Esta ala es utilizada para capacidades de elevación muy altas, el interés en este nuevo perfil aerodinámico se aceleró rápidamente a medida que los datos se difundieron en un informe de la NASA. Una aeronave que utiliza este perfil es Beechcraft Model 77 Skipper mostrado en la figura 1.16.

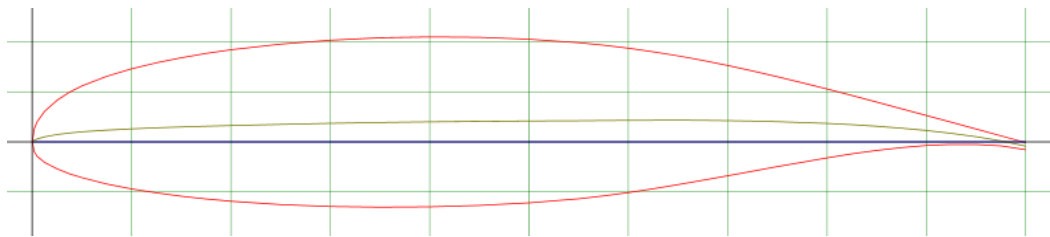


Figura 1.15. Diseño del perfil GA (W)-1.



Figura 1.16. Modelo de Beechcraft Model 77 Skipper.

CAPITULO 2

“La humanidad necesita hombres prácticos que aprovechen al máximo su trabajo y, sin olvidar el bien general, salvaguarden sus propios intereses. Pero la humanidad también necesita soñadores, para quienes el desarrollo desinteresado de una tarea es tan cautivador que les resulta imposible dedicar su cuidado a su propio beneficio material”.

Marie Curie

Capítulo 2: construcción del modelo.

Los perfiles alares que se seleccionaron en este trabajo de tesis para realizar el análisis foto elástico son los mencionados al final del capítulo anterior. A continuación, se presentan las especificaciones geométricas para cada uno:

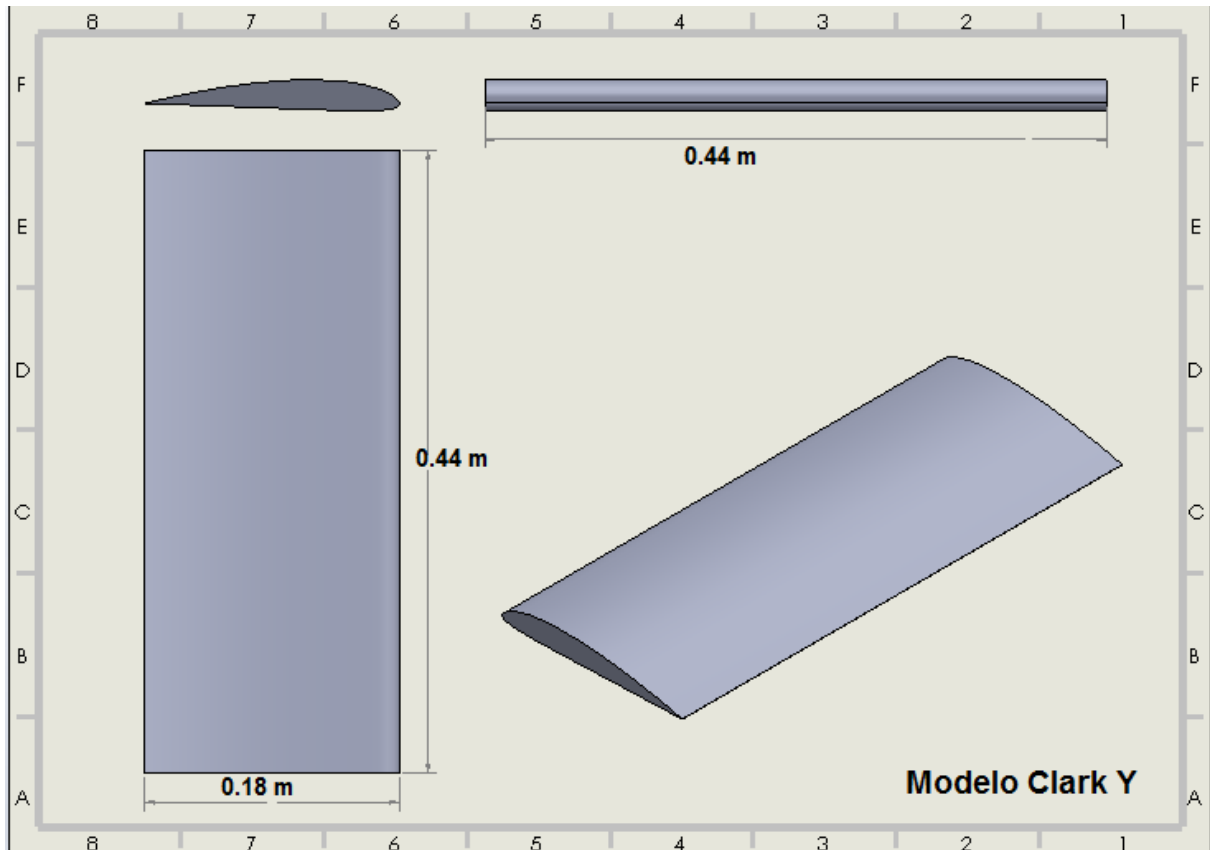


Figura 2.1. Especificaciones de perfil alar Clark Y.

Es importante destacar que el perfil alar Clark Y tiene una longitud mayor al perfil NASA GA W-1 en un 62.7%, con la finalidad de realizar una comparación en la dispersión y concentración de los colores y/o esfuerzos en cada modelo, a diferencia de nasa GAW-1 que tiene un grosor mayor al del Clark Y, con la finalidad de observar el cambio en los esfuerzos debido a esto, este perfil también tiene un cambio de sección en el diseño del borde de salida más complejo para comparar como los esfuerzos se manifiestan al tener un cambio en el diseño, grosor por la fuerza aplicada.

A continuación, se describe la metodología de construcción de los perfiles alares, desde la elaboración de los moldes hasta la obtención de perfiles en material fotoelástico, donde los pasos a seguir son:

- 1.- Maquinado en CNC de perfil alar.
- 2.- Base de molde utilizando silicona blanca.
- 3.- Perfil alar en material fotoelástico.

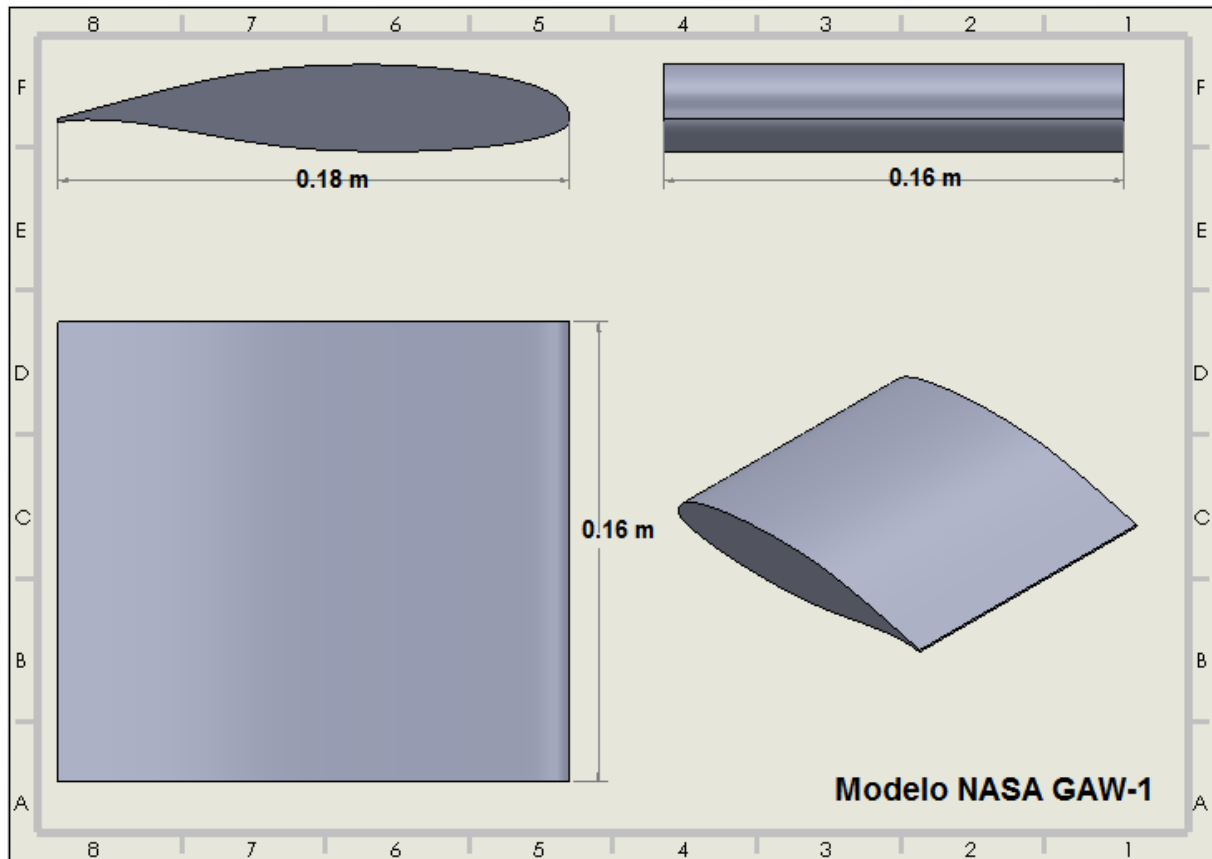


Figura 2.2. Especificaciones de perfil alar NASA GA W-1.

2.1 Maquinado en CNC

Los moldes se construyeron utilizando polycarburo, material que es fácil manipular y además de bajo costo, se utilizó una placa de 0.6x0.6 m para realizar varios cortes del perfil como se puede ver en la figura 2.3, con los cuales se forma un perfil de 0.508 m de largo y una cuerda de 0.18 m.



Figura 2.3. Placa de espuma de policarburo instalada en la CNC.

Para realizar los cortes se especificaron las coordenadas del perfil en un software para dibujo en 3D, el cual puede ser Solid Works o Catia. Las especificaciones geométricas de los perfiles se pueden encontrar en internet o en programas como Profili2, el cual contiene la mayoría de las series de perfiles alares, sin embargo, para poder utilizarlo se requiere una licencia. Una vez realizado el dibujo en 3D se guarda como extensión Dxf, el cual es un tipo de formato que permite generar el contorno del perfil en 2D, para poder realizar el código de corte para la CNC.

Una vez que se acceden las coordenadas a la CNC, se realiza el código de corte utilizando el programa CNC Shark, para esto se debe seleccionar el cortador, y analizar los parámetros que se le darán como instrucción a la CNC para que pueda hacer el corte satisfactoriamente (Ir a anexos practica 1, se encuentra la metodología del proceso paso a paso), como lo podemos observar en la figura 2.4. Hay una serie de pasos importantes para realizar el corte en CNC y se describen a continuación:

- Tener el dibujo en la extensión Dxf y abrirlo en el programa Mastercam.
- Seleccionar el cortador.
- Revisar que la CNC este en óptimas condiciones.
- Tomar medidas de seguridad tales como; bata, gafas de protección, tapabocas, etc.
- Seleccionar el código realizado y abrir el programa de la CNC, en este caso CNC Shark.
- Correr el programa y supervisar que se realice de manera adecuada el corte.

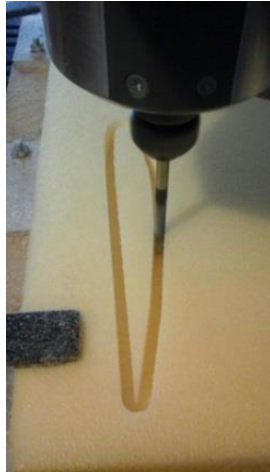


Figura 2.4. Corte de perfil en CNC.

Una vez que los se tienen los cortes en la CNC listo, el tercer paso es unirlos con pegamento epóxico de secado rápido, tal como se muestra en la figura 2.5. Se utilizó este porque es resistente, transparente y de alta duración. Con los perfiles pegados se da un acabado al ala completa, para esto se utiliza una lija de grado 100 en seco para quitar todo exceso de material del modelo como se puede ver en la figura 2.6, el lijado debe ser suave y delicado ya que el material no es resistente y puede romperse con facilidad, el modelo quedara listo para el siguiente paso, tal como se muestra en la figura 2.7.

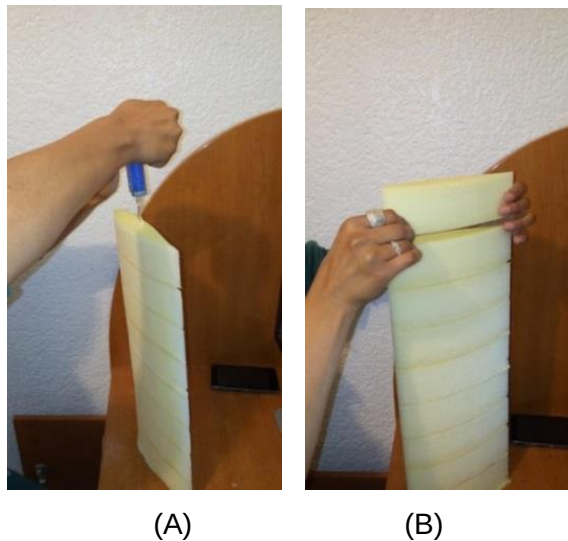


Figura 2.5. Pegando las piezas de poli carburo: (A) Aplicando pegamento en una sección, (B) Uniendo una pieza con otra.



Figura 2.6. Lijado del modelo para un mejor acabado.



Figura 2.7. Modelo con acabado fino.

2.2 Acabado del modelo

Una vez que el modelo ha sido pulido está listo para aplicarle color car rellenedor plástico (mejor conocido como bondo), este producto esta formulado a base de resina poliéster que le ofrecen excelentes propiedades de adherencia, lijado, moldeo, flexibilidad y dureza. Para utilizar el material la superficie por resanar debe estar seca, limpia, libre de polvo, grasa o cualquier otro tipo de contaminante. El producto debe mezclarse antes de utilizarlo como se ve en la figura 2.8, en este caso un 2% de catalizador, se mezcla perfectamente hasta formar una pasta homogénea y de color uniforme, lo que sobre de la pasta catalizada se debe desechar y no preparar más producto del que pueda aplicar entre 5 y 7 minutos. Ya que se tiene preparada la pasta se aplica inmediatamente con una cuña, de hule o de plástico, ver figura 2.9 (A), aplicar manos delgadas y uniformes sobre la superficie del ala hasta tenerla completamente cubierta, ver figura 2.9 (B), se deja 30 minutos antes de lijar y se utiliza una lija de grado 80 en seco para quitar las grandes imperfecciones como se ve en la figura 2.10 (A) y después se puede utilizar una lija de grado 180 en seco para darle un acabado limpio y liso, ver figura 2.10 (B).



Figura 2.8. Mezcla de color car relleno plástico con 2% de catalizador.



(A)



(B)

Figura 2.9. Aplicación de bondo con cuña de hule: (A) Aplicación inmediata de bondo, (B) Aplicación de manos delgadas uniformes de bondo.



(A)



(B)

Figura 2.10. Ala lista para lijado: (A) Ala con imperfecciones después de secado, (B) Último lijado para un mejor acabado.

El ala o modelo quedara cubierta de color car rellenedor plástico, limpia, lisa y más resistente. Es necesario adquirir el material gelcoat, en este caso es centergel GD 002 blanco, es un gelcoat blanco ortoftálico modificado con resina isoftálica, para aplicaciones de usos generales donde se requiera un buen desempeño. Tiene muy buen poder cubriente y buena retención del brillo. Se vierte en un recipiente el gelcoat, y con la ayuda de una báscula por cada 100 g de gelcoat se añade 1.5 g de catalizador, batir la mezcla por 1 minuto ya que el período de tiempo de la mezcla inicial de los reactantes de la composición del material líquido es de 8 a 13 minutos, usando una brocha para aplicar el gelcoat sobre el ala así como se ve en la figura 2.11, se aplican capas delgadas y uniformes sobre la superficie hasta que esté completamente cubierta, el intervalo de gel-curado es de 40 minutos, para mayor seguridad de secado esperamos 60 minutos ya que se va a volver a lijar.

El ala estará completamente cubierta de gelcoat pero con muchas imperfecciones, con lijas de agua de grado 100, 400, 600, 1200 y 2000, se lija a mano hasta que la superficie quede sin imperfecciones, ver figura 2.12, hasta llegar a la lija de grado 2000. Una vez que se termina de lijar en agua, se colocan tres capas de esmalte acrílico transparente de secado rápido, como se muestra en la figura 2.13.



Figura 2.11. Aplicación de gelcoat sobre el ala con una brocha.

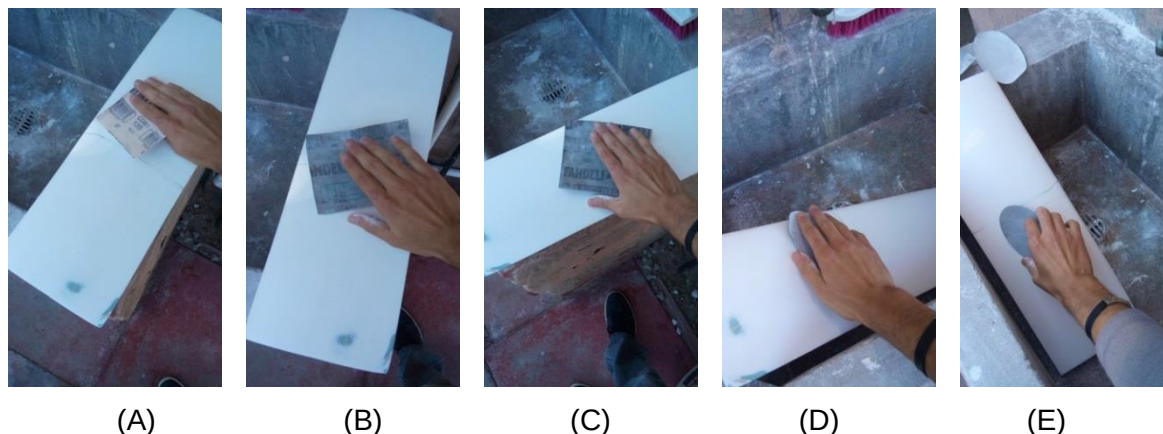


Figura 2.12. Lijado en agua el ala con gelcoat: (A) Lija grado 100, (B) Lija grado 400, (C) Lija grado 600, (D) Lija grado 1200, (E) Lija grado 2000.

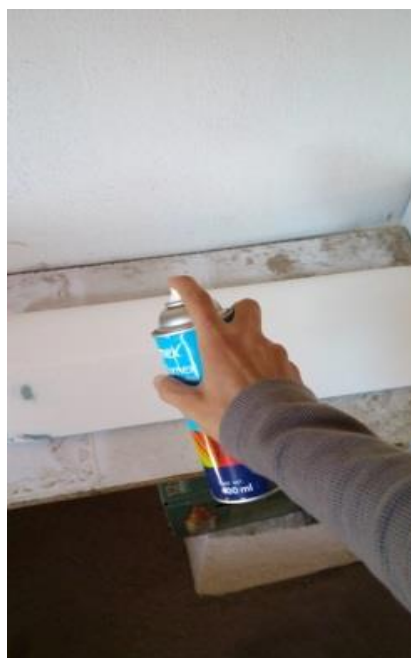


Figura 2.13. Aplicación de esmalte acrílico transparente al ala.

2.3 Proceso de moldeo con silicona blanca

Una vez que el ala está limpia, lisa y libre de imperfecciones, se inicia la construcción de una caja para hacer el molde del ala, en este trabajo se optó por construir la caja con madera blanca, las dimensiones de la misma son: 0.65x0.25x0.10 m. Al interior de la caja se aplica desmoldante como se indica en la figura 2.14, ya que esto ayuda a quitar de una manera segura, rápida y sencilla el silicón de las paredes de la caja de madera. Una vez que se construye la caja se rellena con silicón con el perfil alar fijo en el interior.



Figura 2.14. Aplicación de desmoldante en caja de madera.

El material utilizado para construir el molde es hule de silicón RTV-490, el cual es una masa extensible de caucho de silicón que vulcaniza a temperatura ambiente y especialmente apropiada para su aplicación en moldes elásticos en los que se han de colocar resina poliéster, permite la incorporación de aceite de silicón (diluyente) que aumenta la fluidez, facilita su manejo y rinde para un gran número de coladas. Si se pone una proporción exagerada de aceite de silicona, además de disminuir sus propiedades mecánicas, baja considerablemente el número de coladas, se recomienda usar un máximo de 25% de aceite de silicón. La mínima contracción posible del caucho de silicón puede alcanzarse evitando porcentajes de catalizador mayores de 2%, un vulcanizado libre de burbujas puede obtenerse haciendo el vacío en la masa catalizada mediante agitación, así pueden ser también eliminadas las burbujas introducidas al mezclar el endurecedor. Para el uso de este material es recomendable utilizar guantes de protección ya que el material es muy pegajoso y difícil de quitar. La cantidad de silicón que se utilizó para el llenado de la caja fueron 4 kilos, el procedimiento seguido fue del siguiente modo: se vierte 1 kilo silicón en un recipiente, como se muestra en la figura 2.15, se añade solo diluyente y se agita la mezcla, la cantidad de diluyente depende de la textura deseada, se golpea el envase para que las burbujas disminuyan y no se tengan imperfecciones al momento del secado. Ya que este diluido, se introducen 20 ml de catalizador y se agita la mezcla, de igual manera se golpea el envase ya que el material empieza a endurecerse, de una manera cuidadosa se vacía el silicón en la caja de madera como se indica en la figura 2.16, se llena la caja con el material y deberán esperarse 24 horas para el secado. Una vez que transcurrió el tiempo señalado se desarma la caja de madera como se muestra en la figura 2.17, ya que el molde está completamente descubierto se usa una navaja y con precaución se realiza un corte para abrir el molde de silicón y extraer lentamente el perfil alar, tal como se indica en la figura 2.18.

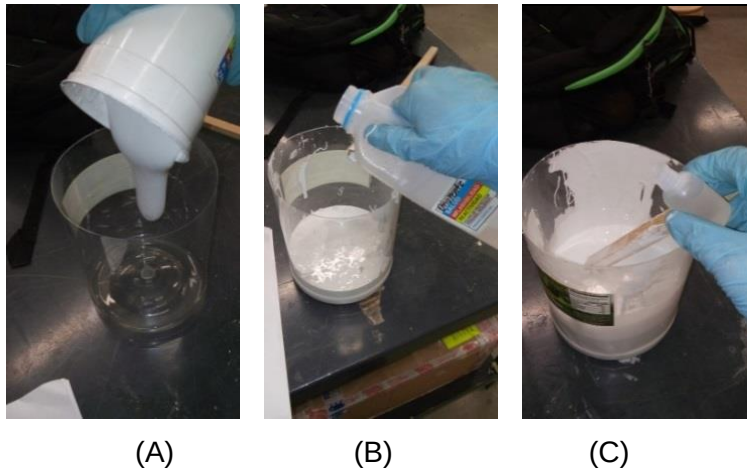


Figura 2.15. Mezcla de silicón: (A) Vaciar 1 kilo en recipiente, (B) Añadir diluyente, (C) Añadir catalizador.



Figura 2.16. Vaciado de silicón al molde.



Figura 2.17. Desmontaje de caja de madera.

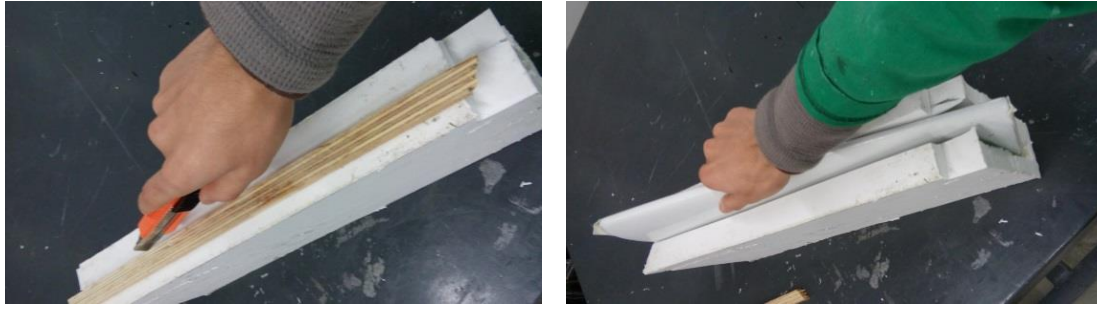


Figura 2.18 Corte de silicón con navaja y extracción de molde.

2.4 Modelos de resina cristalina

Cuando el molde de silicón queda terminado, se introduce en un recipiente que ayudará a mantenerlo fijo y permitirá introducir con facilidad la resina cristalina.

La resina cristalina que se utiliza en esta investigación es el polylite 010-14-G, que es una resina poliéster no saturada, especialmente diseñada para botones y encapsulados, en donde la claridad y el color son de primordial importancia. Para el proceso de inyección de la resina se deben utilizar guantes, lentes y mascarilla de protección. Por cada 100 g de resina se añade 1.7 g de catalizador, el período de tiempo de la mezcla inicial de los reactantes de la composición del material líquido son de 5 a 7 minutos, se mezclan los elementos durante 1 minuto y se vacía la resina en el molde de silicón, tal como se observa en la figura 2.19, el tiempo de curado de la resina cristalina es de 15 a 23 minutos, sin embargo, se dejará 30 minutos para que el material empiece a enfriarse. Ya que la resina cristalina ha secado se retira el molde de silicón como se muestra en la figura 2.20, se debe tener cuidado en el manejo del molde por que la temperatura es elevada.



Figura 2.19. Inyección de resina cristalina en molde de silicón.



Figura 2.20 Extracción del ala del molde de silicón.

Para que el molde del perfil alar de resina cristalina presente un mejor acabado, se utilizan lijas de agua de grado 100, 400, 600, 1200 y 2000. Después de lijar el ala quedará opaca, pero limpia y lisa, por lo que se coloca una capa de esmalte acrílico transparente de secado rápido, como se muestra en la figura 2.21, si la aplicación del esmalte se escurre o no se cubre toda el área de la pieza no se debe aplicar otra capa, en lugar de ello deberá quitarse el esmalte y repetir la operación.



Figura 2.21. Una sola aplicación de esmalte acrílico transparente.

2.5 Ventajas de metodología desarrollada en comparación con la de otros autores.

La técnica utilizada en esta investigación tiene dos ventajas sobre los trabajos mencionados en el capítulo 1 de Soto y Negrete, la primera es la capacidad de adaptación, pues es posible realizar cualquier modelo a partir de un molde. Con esta metodología se pueden diseñar y construir geometrías de cualquier tipo, desde extremidades del cuerpo humano, para realizar prótesis hasta piezas de automóviles, aviones, barcos etc. Por otro lado, otra ventaja que se tiene es el precio, pues los materiales utilizados por los autores estudiados son de alto costo, pues se venden por secciones completas, también si se desean realizar estudios por ejemplo en un modelo de geometría irregular, redonda o muy pequeña la manufactura del modelo a partir de estos materiales no es la adecuada. Con esta metodología solo se tiene que comprar la cantidad necesaria de silicona y resina cristalina.

CAPITULO 3

“Cuando tomamos cierto interés en los grandes descubridores y en sus vidas es cuando la ciencia se hace soportable, y sólo cuando rastreamos el desarrollo de las ideas es cuando se hace fascinadora.”

James Clerk Maxwell

Capítulo 3: análisis y resultados.

Para desarrollar las pruebas de esfuerzo sobre los perfiles alares de resina cristalina se utiliza un banco de pruebas de fotoelasticidad que se describe a continuación.

3.1 Banco de pruebas

La estructura está constituida de elementos de aluminio 10040, con 0.54m de altura, 0.32m de ancho y 0.65m de largo como se indica en la figura siguiente.

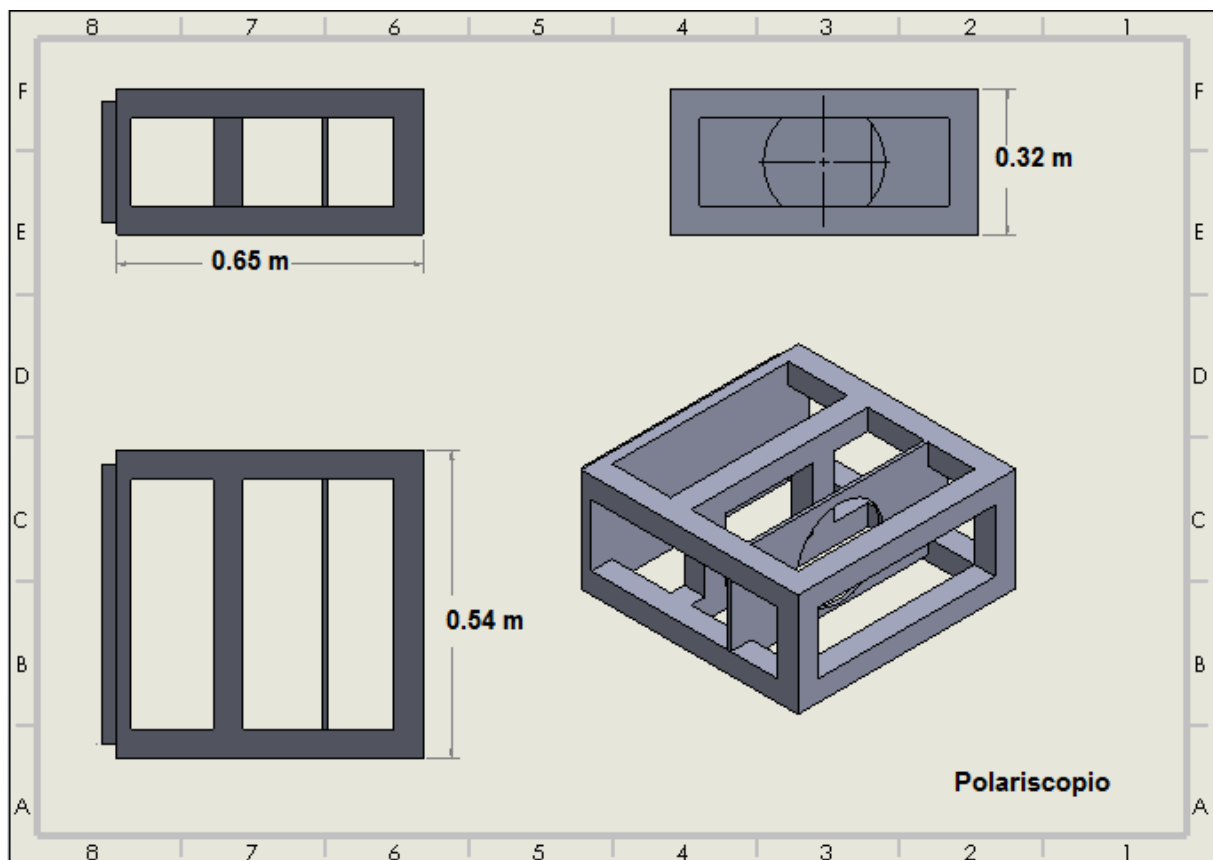


Figura 3.1. Especificaciones geométricas de zona de pruebas.

Para visualizar los esfuerzos el banco cuenta con una placa polarizada y una placa de luz blanca llamada negatoscopio, las cuales se muestran en las siguientes figuras.

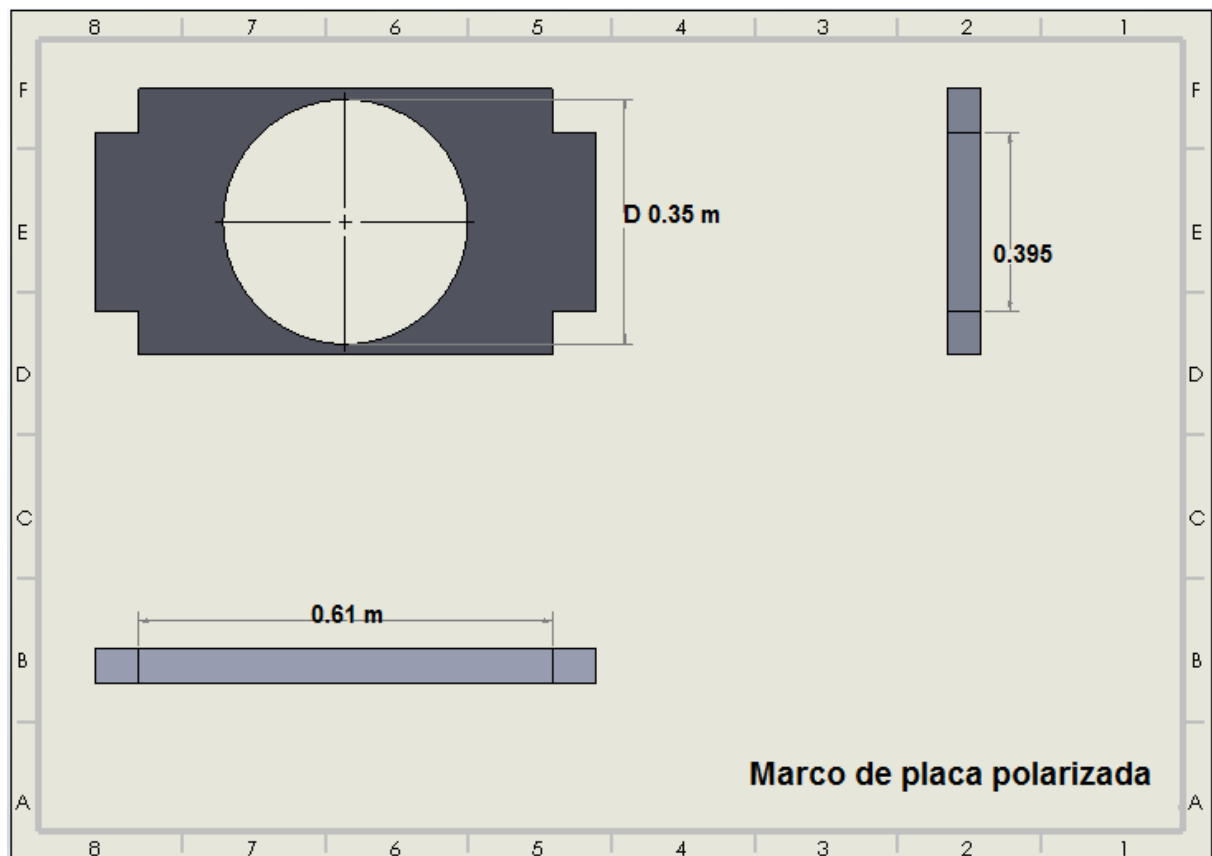


Figura 3.2. Dimensiones del marco de la placa polarizada.

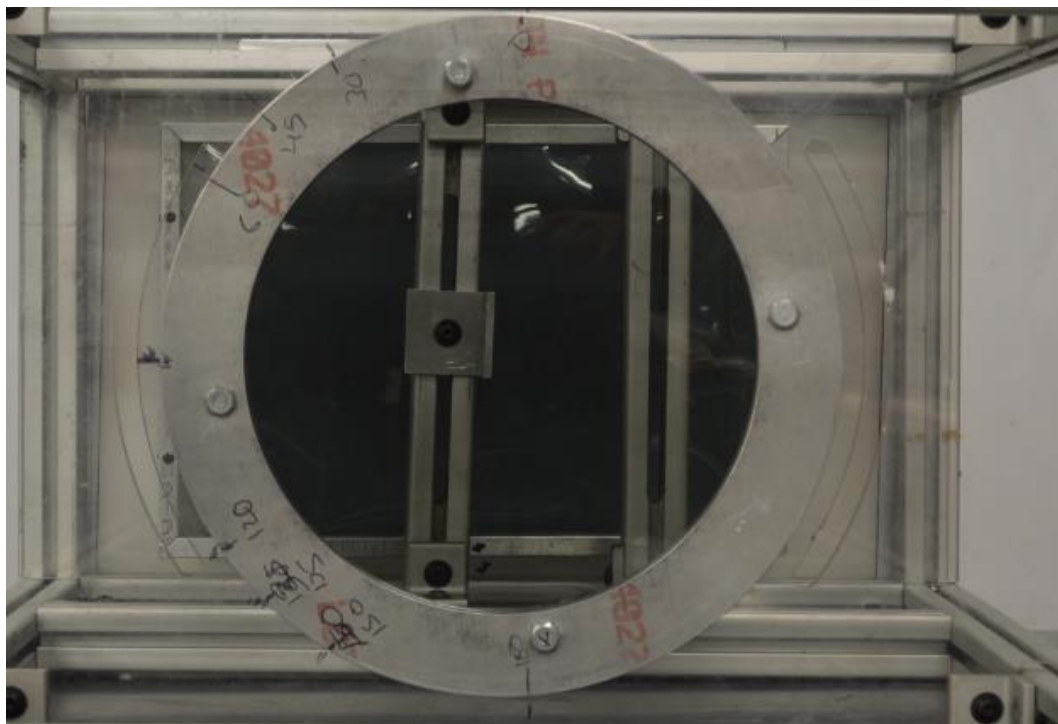


Figura 3.3. Placa polarizada montada en el banco de pruebas.

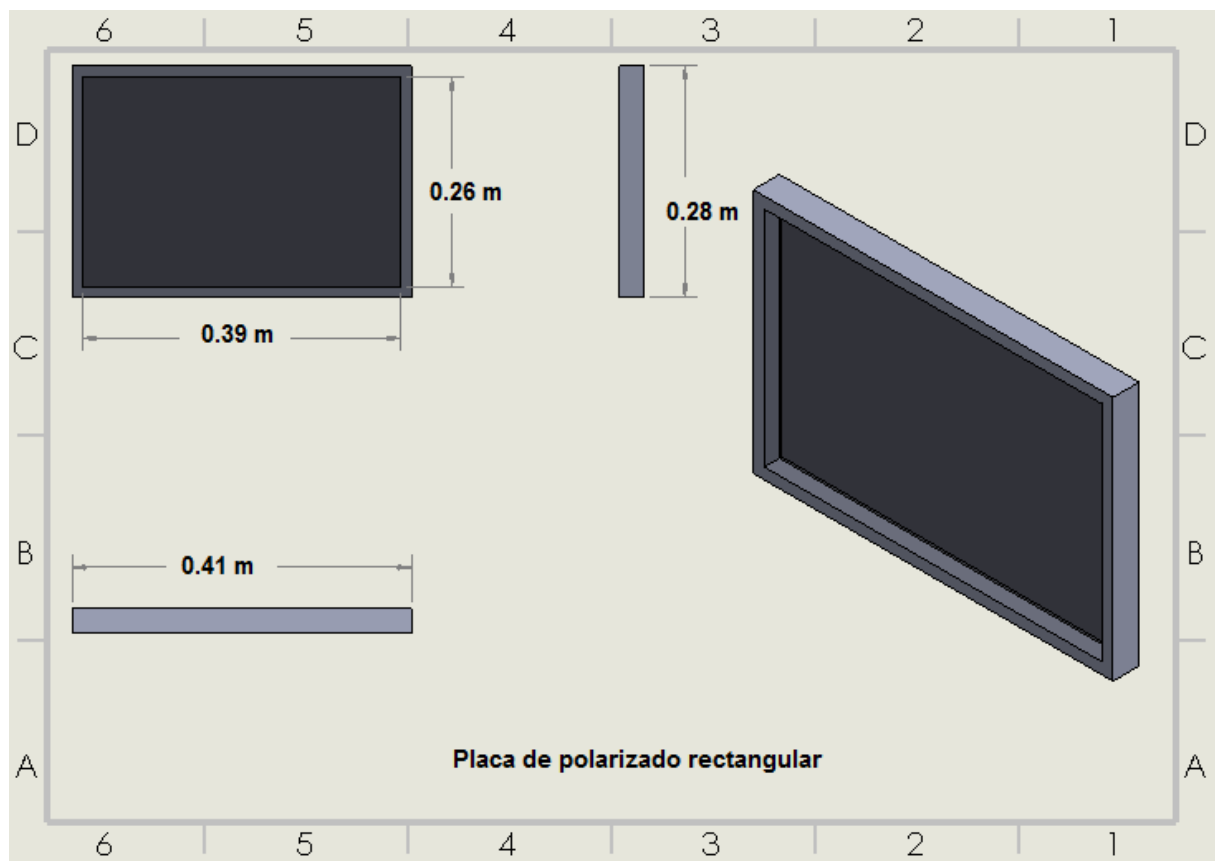


Figura 3.4. Placa de polarizado rectangular.



Figura 3.5. Negatoscopio.

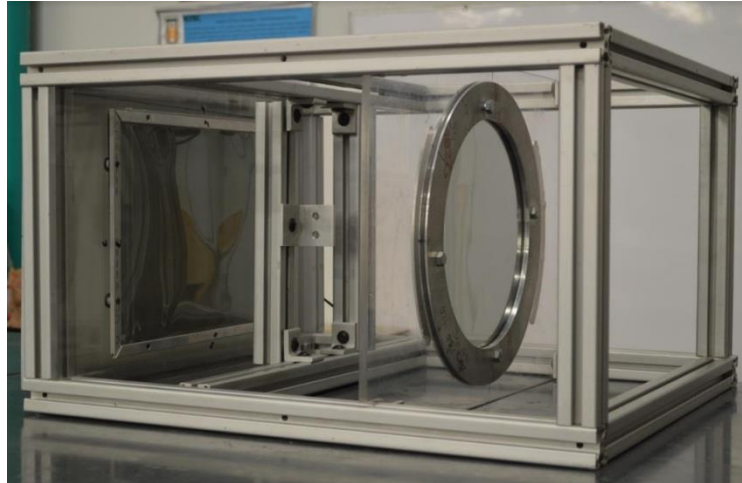


Figura 3.6. Polariscopio instalado en laboratorio de Aeroespacial.

Con el polariscopio armado se construyen las bases para colocar los perfiles de resina cristalina sobre el mismo, para esto se utilizan dos barras de aluminio con las medidas de $0.2 \times 0.076 \times 0.254$ m, los pasos para construir las bases son similares a los que se indicaron al momento de generar los cortes del perfil en espuma de policarburo, en este caso el corte se realizó a 0.0127 m de la placa.

El primer paso es generar el perfil en un software para dibujo en 3D, el cual puede ser Solid Works o Catia, es necesario tener las coordenadas del perfil a dibujar. Con el dibujo terminado en 3D se guarda como extensión .DXF para poder realizar el código de corte para la CNC.

El segundo paso es realizar el código de corte, seleccionar el cortador, y analizar los parámetros que se le darán como instrucción a la CNC para que pueda hacer el corte satisfactoriamente, como se muestra en la figura 3.7. Hay una serie de pasos importantes para realizar el corte en CNC que son:

- Tener el dibujo en la extensión .DXF y abrirlo en el programa Mastercam el cual con el dibujo te genera un código.
- Seleccionar el cortador.
- Revisar que la CNC este en óptimas condiciones.
- Tener medidas de Seguridad, Bata, Gafas de protección, Tapabocas, etc.
- Seleccionar el Código realizado y abrir el programa de la CNC, en este caso CNC Shark.
- Correr el programa y estar al pendiente de que se esté generando de manera adecuada el corte.



Figura 3.7. Centrado de cortador a la placa de aluminio.

La sujeción del modelo se hará a través de dos placas de aluminio con la figura del modelo en la parte interior como se puede ver en la figura 3.8, para poder sujetar al banco de pruebas es necesario adaptar las placas de aluminio al banco, para realizar esto, se realizan dos barrenos en la placa de aluminio con una broca de 0.0079375 m, y uno más en la placa de aluminio que será la que sostenga el brazo de palanca, esto dependerá del sentido en el que el modelo o ala se monte en el banco de pruebas. Como siguiente paso se pondrá un machuelo de 5/16-8Nc, para así poder poner un tornillo en la placa y adaptarla en la máquina.

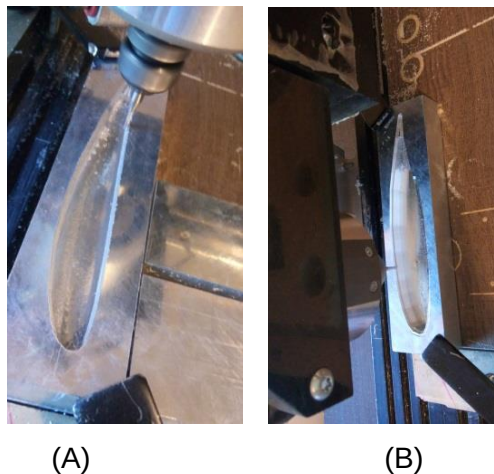


Figura 3.8. Diseño del ala en placa de aluminio: (A) Ala Clark Y, (B) Ala GAW-1.

En la figura 3.9 se puede apreciar el paso terminado, con una barra de aluminio con las medias de 0.0095x0.0254x0.61 m, se taladra en un extremo de la barra, del lado en donde están los tres agujeros de nuestra placa y esto se puede apreciar en la figura 3.10, ya que esta barra será nuestro brazo de palanca, ya que todo está taladrado se coloca el ala de resina cristalina en las barras y se coloca con tornillos 5/16-18Nc, cómo se observa en la figura 3.11.



Figura 3.9. Barra de sujeción perforada.



Figura 3.10. Brazo de palanca con tres agujeros coincidentes a la barra de sujeción.



Figura 3.11. Modelo foto elástico fijo al banco de pruebas.

3.2 Análisis de resultados en función de ángulo variable.

A continuación, se muestra el modelo Clark Y instalado en la zona de pruebas sometido a esfuerzo. Para obtener las imágenes de los esfuerzos obtenidos en esta investigación se utilizó una cámara Nikon D3200 colocada a una distancia de 0.5m de los modelos.

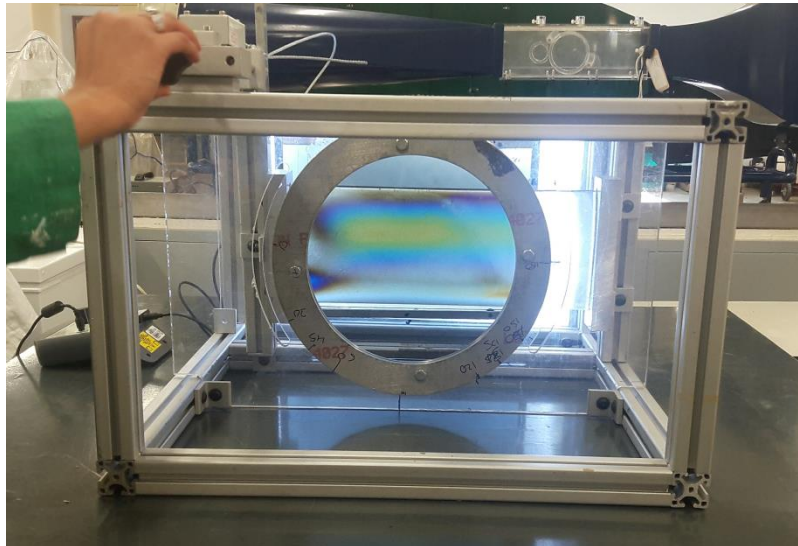


Figura 3.12. Aplicación de carga al modelo Clark Y.

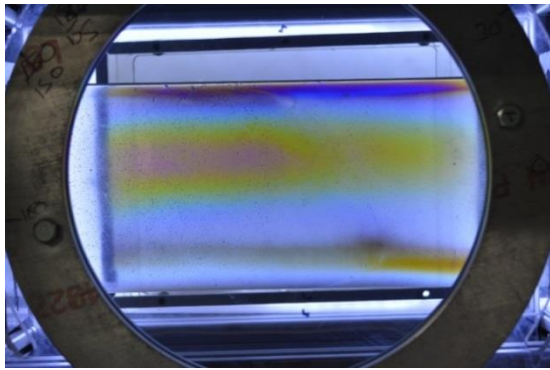
Primero se analizaron tres casos en función al ángulo del lente del polariscopio plano, para cada uno de los modelos sujeto a la misma carga, la cual fue de 200 N debido a que a esta carga los esfuerzos mínimos y máximos ya son evidentes. La variación del ángulo de la lente permite observar los esfuerzos máximos y mínimos sobre los modelos. En la figura 3.13 se puede observar los resultados de esta experimentación.

La matriz experimental del estudio inicial se presenta en la tabla siguiente:

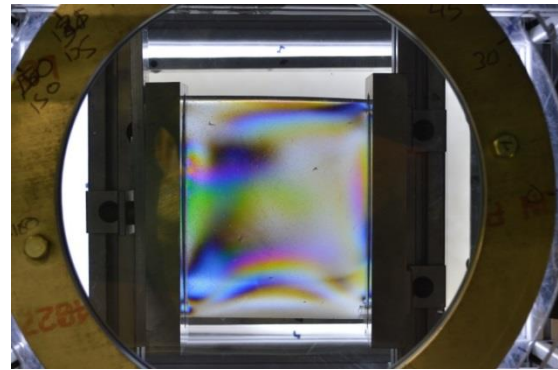
Tabla 3.1. Matriz experimental para carga fija y ángulo variable.

Modelo	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Tensión (N)
Clark Y	(A) 0°	(C) 45°	(F) 90°	200 N
NASA GA W-1	(B) 0°	(D) 45°	(G) 90°	200 N

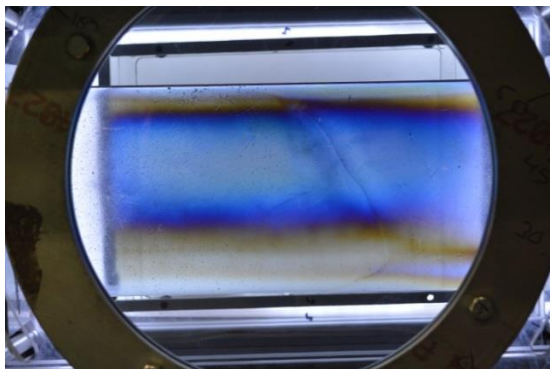
Se puede observar que el comportamiento de cada uno de los modelos es diferente, esto se debe a la geometría y la longitud de cada uno, el ala Clark Y tiene una longitud mayor a la del perfil GAW-1 en un 62.7%. Utilizando las especificaciones de la tabla 1.1 de colores de características de franja isocromática, se realiza el análisis de los esfuerzos en los modelos.



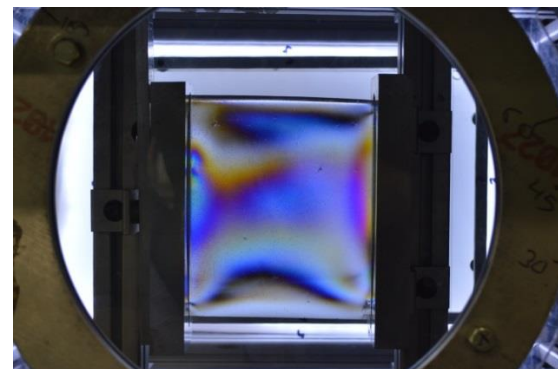
(A)



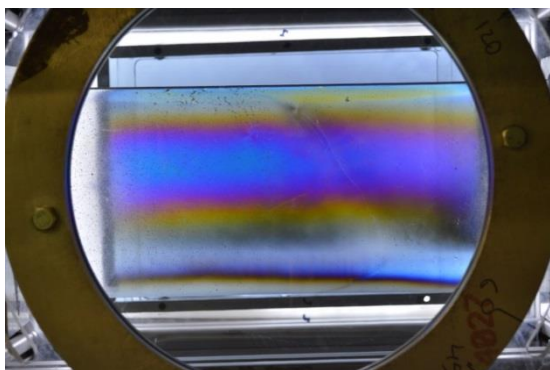
(B)



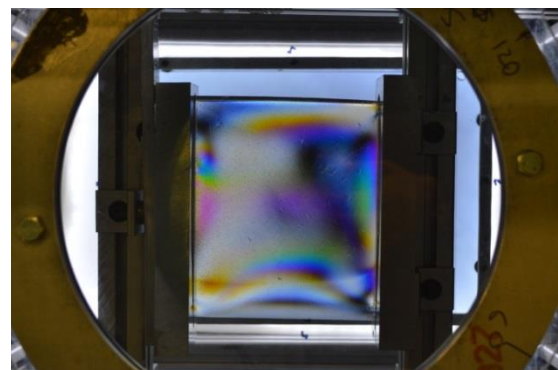
(C)



(D)



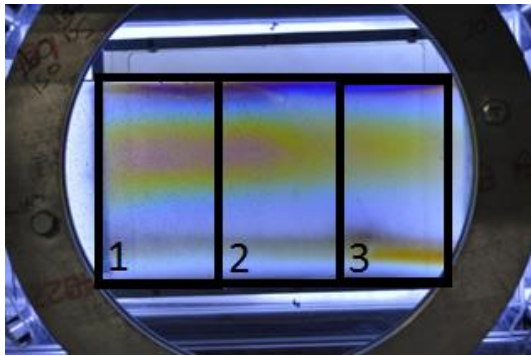
(E)



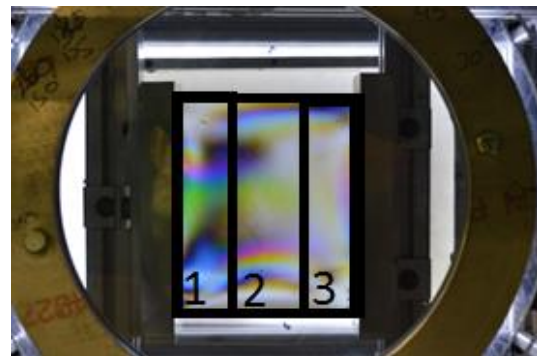
(F)

Figura 3.13. Ala Clark Y (A, C, E) y ala GAW-1 (B, D, F), con una fuerza de 200 N a torsión: (A y B) 0° , (C y D) 45° y (E y F) 90° .

En la figura 3.14, los modelos Clark Y y NASA GA W-1 respectivamente se dividen imaginariamente en tres secciones verticales y se seleccionó la parte 2 (central) para el estudio, esto debido a que en la sección 1 está la zona de empotramiento y esto afecta el análisis, con la ayuda de la tabla 1.1 de características de franja isocromática se pondrá el número de orden u orden de franja de abajo hacia arriba (Borde de salida hacia el borde de entrada).



(A)



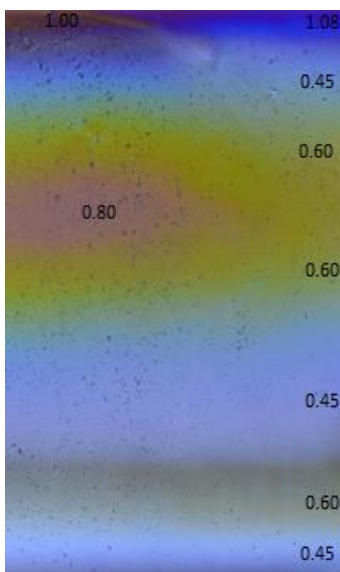
(B)

Figura 3.14. División de análisis de ala: (A) Clark Y y (B) GA W-1 con un ángulo de 0° .

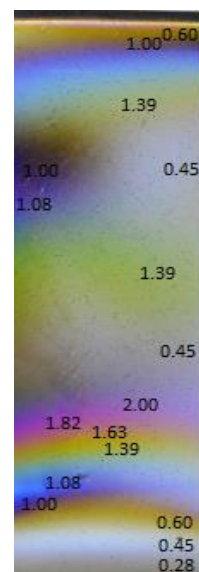
- Caso 1: ángulo de lente de polariscopio a 0° .

En la sección (A) de la figura 3.15 se muestra la parte central del ala Clark Y, en esta se pueden observar diferentes cantidades situadas en puntos clave de la imagen, el valor mínimo de 0.45 con un color blanco, se puede observar en 3 diferentes áreas y el valor máximo es 1.08 con un azul profundo apreciándose en la parte superior.

En la sección (B) de la figura 3.15 se muestra la parte central del modelo GA W-1, y puede observarse que existen más colores que la sección (A). Se muestra esto a detalle, podemos notar colores tal como rosa, morado, azul, verde-amarillo, rojo-rosa y como lo vimos anteriormente azul-profundo y blanco, el valor mínimo en esta sección es de 0.28 representado por el color gris y el valor máximo es 2.0 de color morado.



(A)



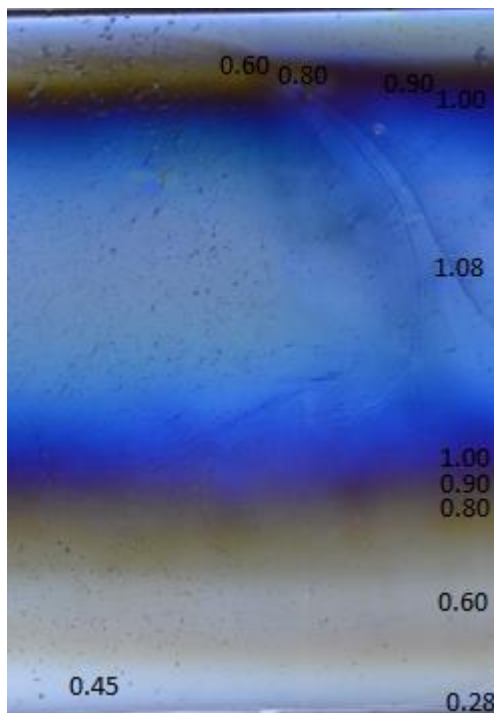
(B)

Figura 3.15. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 0° .

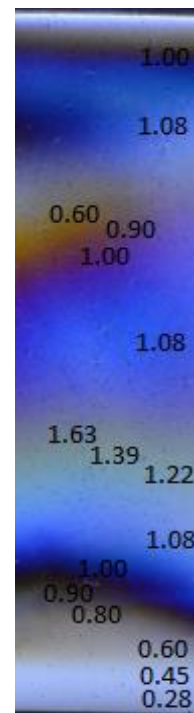
-Caso 2: ángulo de lente de polariscopio a 45° .

En la sección (C) de la figura 3.16 se tiene un color predominante azul con un valor máximo de 1.08, y al comparar el caso 1 y 2 el valor máximo se mantiene, pero el valor mínimo encontrado es otro, ahora bien, en la parte inferior se observa un valor de 0.28 con color gris.

En la sección (D) de la figura 3.16 se encuentra el mismo valor mínimo 0.28 de color gris y el valor máximo cambio, pues al cambiar el ángulo del lente del polariscopio plano se observan diferentes franjas isocromáticas, por eso es importante variar el ángulo para encontrar más datos, pues el valor máximo encontrado en este caso es 1.63 de color naranja.



(C)



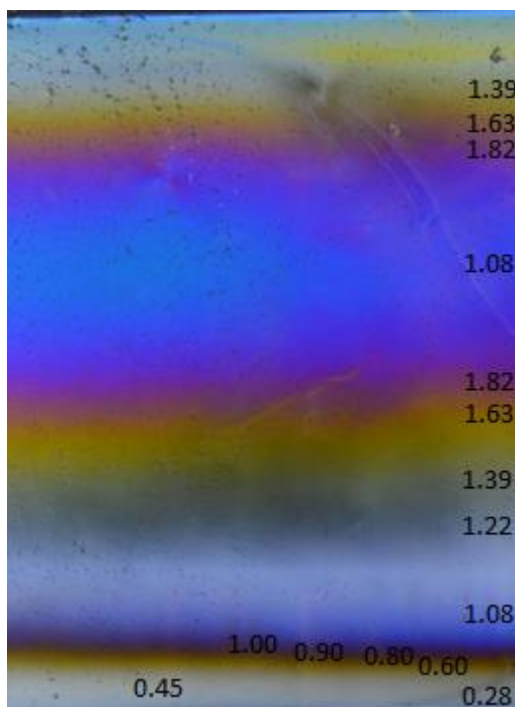
(D)

Figura 3.16 Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 45° .

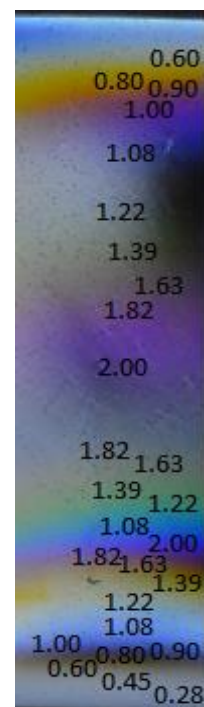
-Caso 3: ángulo de lente de polariscopio a 90° .

En la sección (E) de la figura 3.17 se encuentran valores máximos que no se vieron a los anteriores ángulos tales como el valor 1.22, 1.39, 1.63 y 1.82 como el más significativo.

En la sección (F) de la figura 3.17 se observa que el valor máximo en los tres casos es 2.0 pero en este caso se puede notar en dos diferentes áreas, además que se muestra un mayor número de colores.



(E)



(F)

Figura 3.17. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con un ángulo de 90° .

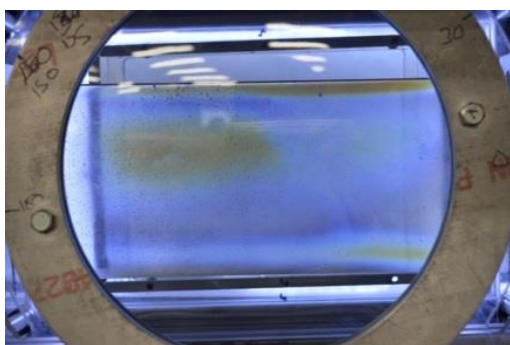
3.3 Análisis de resultados en función de carga variable.

El segundo caso de estudio se realiza al variar la carga manteniendo un ángulo fijo, como se muestra en la matriz experimental de la tabla 3.2. Se selecciono el ángulo de 0° debido a que a este ángulo se observa la mayor parte del espectro de coloración. En la figura 3.18 se muestran los resultados para este analisis.

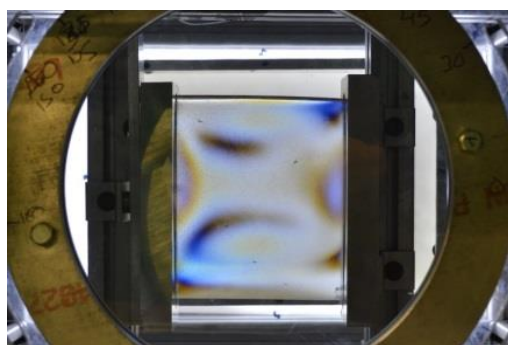
Tabla 3.2. Matriz experimental para ángulo fijo y carga variable.

Modelo	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Angulo del polariscopio plano.
Clark Y	1 N	200 N	400 N	0°
NASA GA W-1	1 N	200 N	400 N	0°

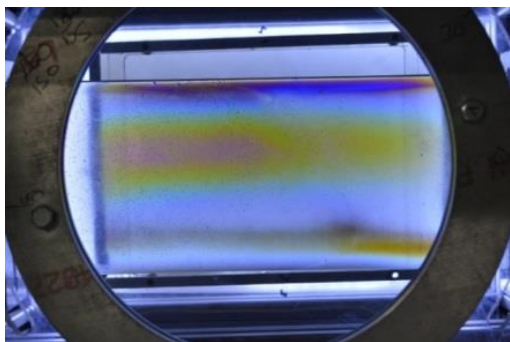
Al realizar incrementos en la carga, en los modelos se observa claramente la variación de la concentración de color. El comportamiento de los modelos es debido a la longitud y geometría, como se ve en ala Clark Y al hacer un aumento en la carga el esfuerzo representado por la coloración se extiende hacia el otro borde. Se observa que en el cambio de sección del modelo al incrementar la carga el esfuerzo se concentra. Es claro que el esfuerzo mayor está en el área de tensión de cada uno de los modelos haciendo un ejemplo claro de un ala sujeta al fuselaje de una aeronave, presentando esfuerzos en las secciones más débiles, este método de visualización de esfuerzos nos permite hacer un modelo a escala y realizar cálculos que nos ayuden a encontrar las aéreas que necesitan refuerzo de materiales y cuál es el efecto que tiene la tensión de la sujeción del ala.



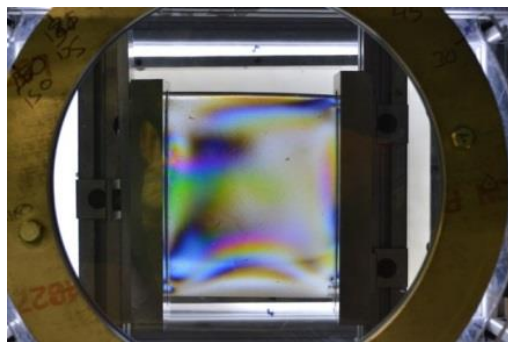
(A)



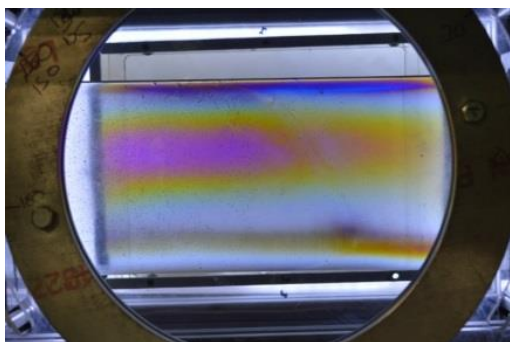
(B)



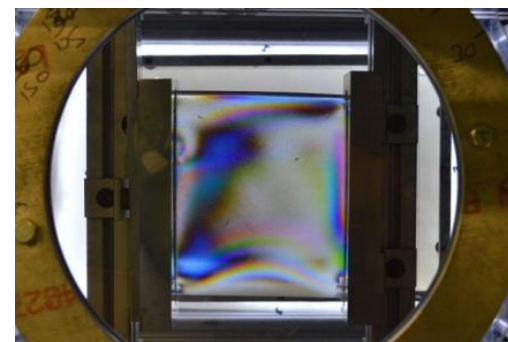
(C)



(D)



(E)



(F)

Figura 3.18. Ala Clark Y (A, C, E) y ala GAW-1 (B, D, F), con un ángulo de 0° y con una fuerza de torsión: (A y B) 1 N, (C y D) 200 N y (E y F) 400 N.

Del mismo modo que en el análisis anterior, los modelos Clark Y y NASA GA W-1 respectivamente se dividen imaginariamente en tres secciones verticales (ver figura 3.19) y se seleccionó la parte 2 (central) para el estudio, con la ayuda de la tabla 1.1 de características de franja isocromática se pondrá el número de orden u orden de franja de abajo hacia arriba (Borde de salida hacia el borde de entrada).

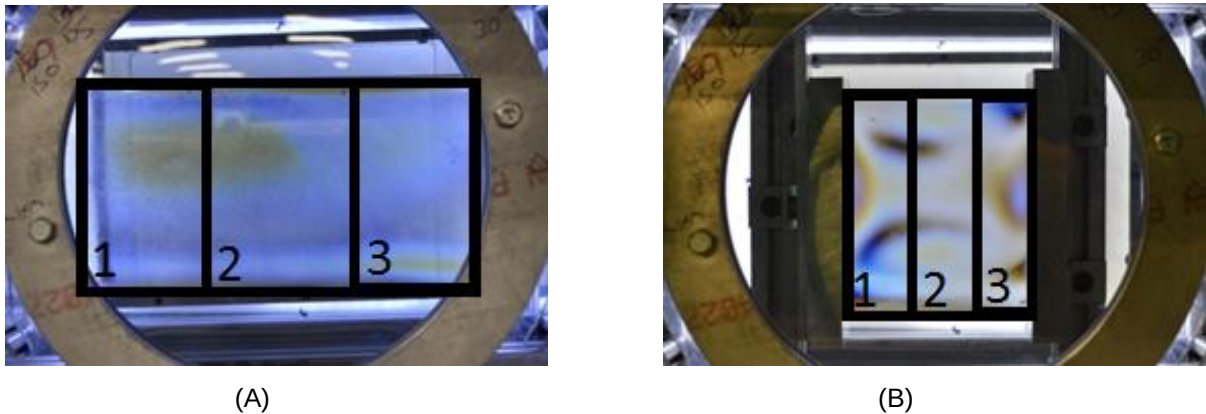
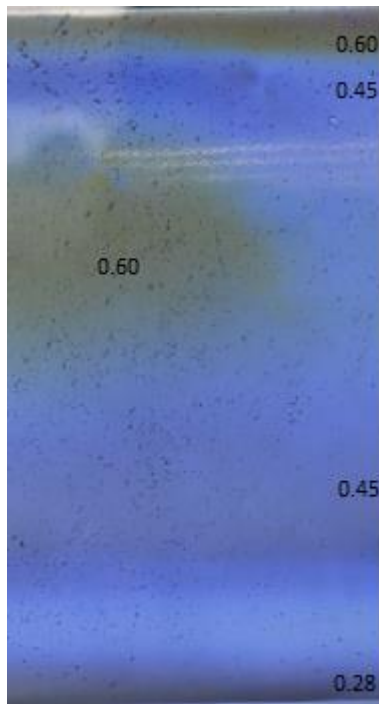


Figura 3.19. División de análisis de ala: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de 1N.

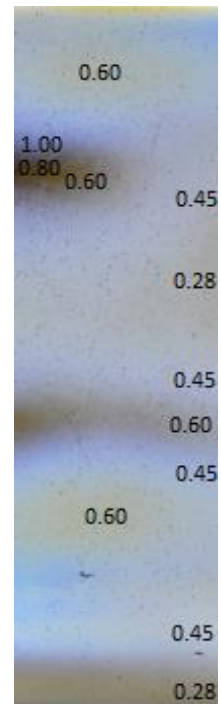
-Caso 4: fuerza de torsión de 1N.

En la sección (A) de la figura 3.20 se aprecian valores desde 0.28 a 0.60 con 1 N de tensión, aunque no hay una carga significativa se observan valores de franja y se debe a que el modelo esta empotrado con bases de aluminio y esto hace que en la parte del empotramiento este a una tensión de compresión.

De la misma manera en la sección (B) de la figura 3.20 esta empotrado de la misma forma y también presenta valores de orden de franja, pero en este caso hay valores que asciende hasta 1.0 siendo el valor máximo del esfuerzo, se observa un mayor número de colores y valores, esto se debe a que la longitud de este modelo es menor.



(A)



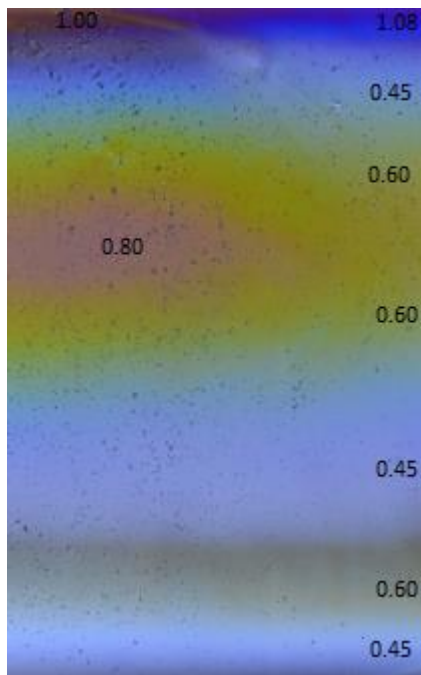
(B)

Figura 3.20. Numero de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 1N.

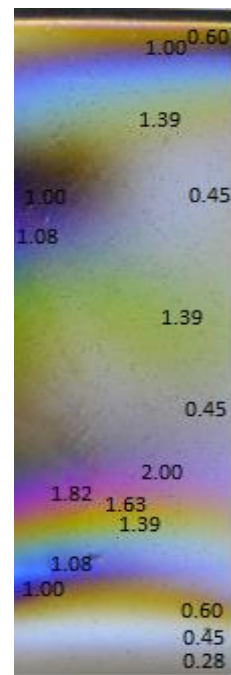
-Caso 5: fuerza de torsión de 200N.

En la sección (C) de la figura 3.21 se observa que al incrementar la tensión a 200 N se muestra un incremento de coloración y se observa que el valor máximo se eleva de 0.60 a 1.08 en la parte superior del modelo, también se ven esfuerzos altos en la parte central con un valor de 0.80 que si comparamos con el caso uno, incremento 0.20 al aumentar la tensión.

En la sección (D) de la figura 3.21 se muestra un incremento significativo de coloraciones, incrementando el valor máximo a 2.00 en la parte inferior del modelo, esto se debe a la curva que tiene el diseño del perfil, se observa incremento en los esfuerzos en la parte superior y en la parte inferior del modelo.



(C)



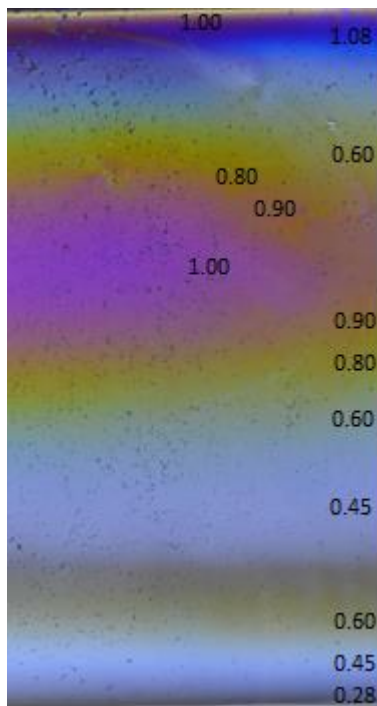
(D)

Figura 3.21. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 200N.

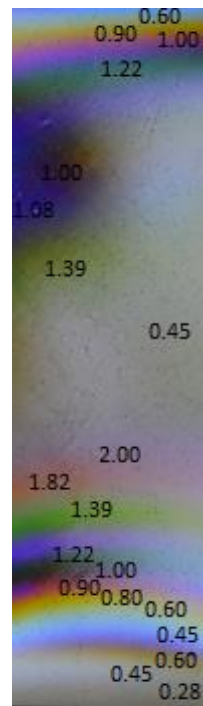
-Caso 6: fuerza de torsión de 400N.

En la sección (E) de la figura 3.22 se incrementó al doble de la carga con respecto al caso 2, ahora bien, en el modelo se observan incrementos en los valores del número de orden de franja, de igual forma el máximo valor de 1.0 es el mismo que en caso 2, pero se muestran incrementos en la parte central del modelo.

La sección (F) de la figura 3.22 el modelo NASA GA W-1 presenta incrementos en la coloración al incrementar la carga, los esfuerzos en el borde de salida del modelo se incrementan respectivamente a la carga, en un ala en el borde de salida se encuentran las superficies de control tales como alerones, flaps y slats, este análisis nos ayuda comprender que el material de estas superficies debe ser de mayor capacidad de resistencia de material.



(E)



(F)

Figura 3.22. Número de orden en: (A) Clark Y y (B) GAW-1 con fuerza de torsión de 400N.

Esta técnica de moldeo con silicona blanca RTV-490 utilizando resina cristalina permite observar por medio de la foto-elasticidad el esfuerzo en los modelos que se sometieron a tensión, utilizando la tabla de características de franja isocromática, se colocaron los números de orden alrededor del modelo para así poder identificar el comportamiento de las líneas isocromáticas en todo el perfil, se nota como al cambiar el ángulo del polariscopio plano sin cambiar la carga, los esfuerzos son más notables en el ala Clark Y que en el NASA GAW-1 por el espesor que tiene y se concentran en la zona del extradós, después el ángulo se mantiene fijo mientras que la carga se cambia, los esfuerzos se ven más claros ya que no se concentran en un solo punto si no las líneas isocromáticas se dispersan con más claridad, solo que aquí se nota como en el ala Clark Y los colores son más visibles que en ala NASA GAW-1, esto es por la longitud del perfil. Por medio de la técnica de moldeo por silicona RTV-490 para la construcción de modelos de resina cristalina se pueden realizar N configuraciones y diseños para ser analizados por medio de un polariscopio, por el método de foto-elasticidad, ya sean sometidos a fuerza de torsión, compresión y/o flexión. En este caso se realizó el método para perfiles alares de diferente longitud y diseño con lo que se pretendía encontrar las diferencias en la dispersión y concentración de esfuerzos, esto al observar las coloraciones, y haciendo el análisis por medio de la Tabla 1.1 de características de franja isocromática para evaluar las escalas.

Conclusiones.

En este trabajo se desarrolló la metodología de construcción de modelos para visualización de esfuerzos utilizando la técnica de moldeo con silicona tipo RTV-490.

El tiempo de secado de los materiales varía dependiendo la temperatura ambiente, por ejemplo la silicona dice en la ficha técnica que tarda 24 horas en curar, pero al estar en un clima frío se puede dificultar el secado y tomar de 36 a 40 horas, en el caso de la resina cristalina el secado es de 23 a 30 min para que el modelo este formado, pero para poder manipularlo deben transcurrir entre 12 a 20 horas pues se montara y se someterán los modelos a tensión, para mayor seguridad de que el material pueda ser manipulado.

Los colores significativos de esfuerzos son el color azul profundo, rojo-rosado y el morado son los valores máximos que se observaron en los dos modelos, se registraron después de aplicar la carga de 200 N.

Los valores mínimos que se presentaron son 0.28 y 0.45 en los dos modelos, se observó que dependiendo del diseño, longitud y grosor del modelo el comportamiento de los esfuerzos es diferente. En el Clark Y la disipación de los colores se presenta en mayor parte en la parte central y color que predomino son el rojo-rosa, el gris y azul, este modelo a comparación del otro presento menos valores de esfuerzos.

Bibliografía.

Aviña, X. (1997). *Diseño y construcción de un polariscopio y análisis por el método de fotoelasticidad* (Candidato al grado de maestro en ciencias en ingeniería mecánica). Recuperado de:

<http://www.cenidet.edu.mx/subplan/biblio/seleccion/Tesis/MM%20Xochitl%20Avi%F1a%20Rivera%201997.pdf>

Dally J.W. & Riley W. F. (1978). *Experimental stress analysis*. Nueva York: McGraw Hill.

Swindell W. (1975). *Polarized Light*. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

Burguer C. (1987). *Handbook on Experimental Mechanics*. Englewood Cliffs: Society for Experimental Mechanics Inc., Prentice-Hall Inc.

Estrada D. R. (1993). *Estudio de Problemas de Contacto Elastostático, Utilizando Elemento Finito y Fotoelasticidad* (Tesis de Maestría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET).

Negrete, J. M. (2009). *Análisis experimental de esfuerzos por medio de la fotoelasticidad*.

Recuperado de:

[http://miespacio.ucol.mx/~negrete/public_html/documentos/\(2010%2002%2017\)%20ANALISIS%20EXPERIMENTAL%20DE%20ESFUERZOS%20POR%20MEDIO%20DE%20LA%20FOTO-ELASTICIDAD.pdf](http://miespacio.ucol.mx/~negrete/public_html/documentos/(2010%2002%2017)%20ANALISIS%20EXPERIMENTAL%20DE%20ESFUERZOS%20POR%20MEDIO%20DE%20LA%20FOTO-ELASTICIDAD.pdf)

Soto, H. S. (2013). *Estudio de la distribución de esfuerzos sobre un polímero sometido a compresión, utilizando la técnica de fotoelasticidad* (Trabajo de grado Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia). Recuperado de:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/39573/7/01835354.2013.pdf>

Geraldine (2015). *Como hacer moldes de silicón*. Recuperado de <http://www.moldes-flexibles.info/blog/como-hacer-moldes-de-silicona-para-figuras/>

Anderson, J. D. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics* (3ª ed.). Nueva York, Estados Unidos: Mc Graw Hill.

[Partes del ala] [Foto]. (2010, 14 Diciembre). Recuperado de

http://www.lapizarradeyuri.com/2010/12/16/asi-vuela-un-avion/vuelo_perfil_alas-2/

Franchini, S. & López, O. (2013). *Introducción a la Ingeniería Aeroespacial* (2ª ed.). Ciudad de México, México: Alfaomega, Garceta.

McCormick, B. W. (1994). *Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics* (2ª ed.). Toronto, Canada: John Wiley & Sons.

[UIUC Applied Aerodynamics Group]. (2017). Recuperado de: <http://m-selig.ae.illinois.edu/>

Somers, D. M. & Maughmer, M. D. (2002). *Theoretical Aerodynamic Analyses of Six Airfoils for use on Small Wind Turbines*. Recuperado de: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33295.pdf>

Virginius Evans Clark. (2007, 17 de Septiembre). Recuperado de <http://www.earlyaviators.com/eclark.htm>

Clark Y Airfoil [Foto]. (2017). Recuperado de: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>.

[Curtiss/Rosnick P-6E Hawk Replica]. (2017). Recuperado de: <https://www.eaa.org/en/eaamuseum/museum-collection/aircraft-collection-folder/curtiss-rosnick-p6-e-hawk-replica---nx606pe>

The Lockheed Vega. (2014, 4 Septiembre). Recuperado de: <http://www.aviation-history.com/lockheed/vega.htm>

[Waco UPF-7]. (2000, Enero). Recuperado de: <http://www.aviation-history.com/waco/upf-7.html>

(<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Piper/1.htm>)<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Piper/1.htm>

[Aviation Pioneer Richard T. Whitcomb]. (2009, 13 Octubre). Recuperado de: https://www.nasa.gov/topics/people/features/richard_whitcomb.html

[NASA/LANGLEY LS (1)-0417 (GA (W)-1) AIRFOIL (ls417-il)] [Foto]. (2017). Recuperado de: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=ls417-il>

(<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Beech/skipper.htm>)<http://www.pilotfriend.com/aircraft%20performance/Beech/skipper.htm>

(<https://www.flyhpa.com/services/columbia/lc40/>)<https://www.flyhpa.com/services/columbia/lc40/>

(http://www.aviastar.org/air/usa/piper_pa-38-112.php)http://www.aviastar.org/air/usa/piper_pa-38-112.php

Black, S. (2009, 18 de Diciembre). Cirrus Aircraft's SR22. Recuperado de:
<https://www.compositesworld.com/articles/fuselage-skins-redesign-streamlines-production>

(<http://www.franklinairshow.com/images/Cub%20Dimensions.gif>)<http://www.franklinairshow.com/images/Cub%20Dimensions.gif>

PIPER AIRCRAFT PA-38-112 [Foto]. (1982, 26 Febrero). Recuperado de:
https://www.esscoaircraft.com/images/product/large/5892_3_.jpg

Anexos.

CARRERA		PLAN DE ESTUDIO	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ing. Aeroespacial				Mecánica de materiales
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	Aeroespacial		DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Generar el modelo previo en 3D (Solidworks o Catia)		2
1	INTRODUCCIÓN			
El diseño asistido por computadora es un proceso conocido por las siglas CAD, (del inglés Computer Aided Design), que mejora la fabricación, desarrollo y diseño de los productos con la ayuda de la computadora. El diseño asistido por computadora nos muestra el proceso completo de fabricación de un determinado producto con todas y cada una de sus características como tamaño, contorno, etc. Todo esto se graba en la computadora en dibujos bidimensionales o tridimensionales. La fabricación de productos por medio del diseño asistido por computadora tiene muchas ventajas respecto a la fabricación con operarios humanos. Entre estas están la reducción de coste de mano de obra, o la eliminación de errores humanos. También en la computadora se simula en funcionamiento de un determinado producto, se comprueba por ejemplo en un engranaje cual son sus puntos de fricción críticos y poder corregirlos. Con el diseño asistido por computadora se puede fabricar productos complejos que serían prácticamente imposibles de realizar por el ser humano.				
2	COMPETENCIA			
Generar un perfil aerodinámico a partir de sus coordenadas con dibujo asistido por computadora en el software CATIA o Solidworks.				
3	FUNDAMENTO			
Solidworks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por Solidworks Corp., una filial de Dassault Systems, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción, como se muestra en la imagen 1.				

Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

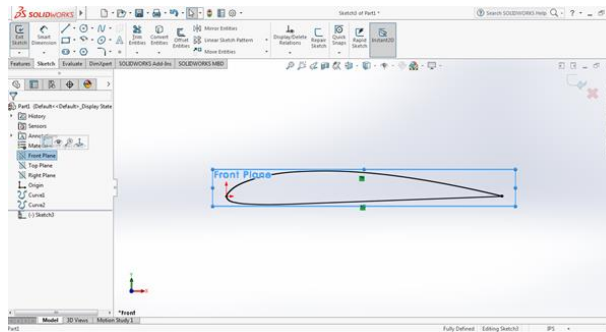


Imagen 1. Dibujo de programa en Solidworks.

4 PROCEDIMIENTO

A EQUIPO NECESARIO

- Computadora
- Acceso a un software de diseño en 3D

B DESARROLLO DE LA PRACTICA

- Por medio del software **Profili2**, o al buscar por nombre las coordenadas en internet podemos encontrar las coordenadas de los perfiles aerodinámicos.
- El siguiente paso es abrir el software en esta caso utilizaremos Solidworks
- Por medio de imágenes indicaremos paso a paso.

Paso 1: Seleccionar nuevo elemento, seleccionar Part (Parte o pieza), como se muestra en la imagen 2.

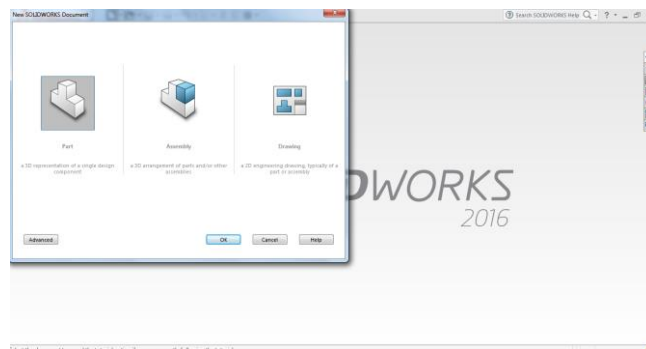


Imagen 2. Selección de archivo.

Paso 2: Seleccionar el plano de dibujo en ese caso utilizaremos plano frontal, ver imagen 3.

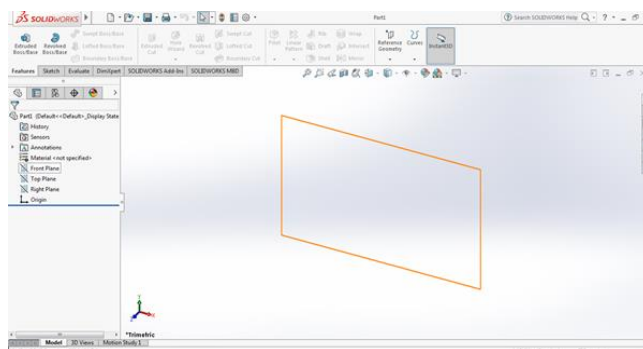


Imagen 3. Selección de plano.

Paso 3: Seleccionar la cara frontal, ver imagen 4.

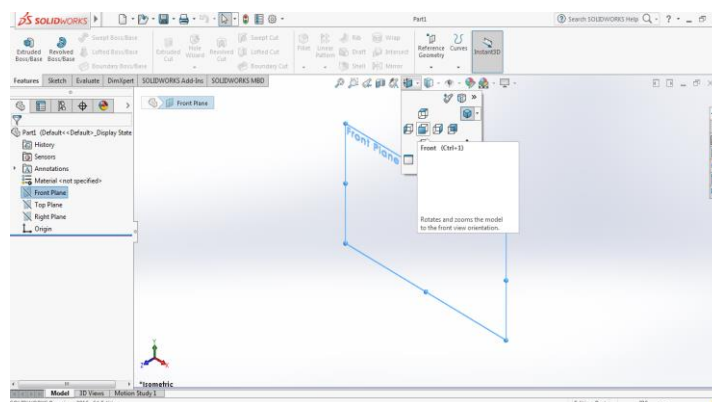


Imagen 4. Seleccionar cara frontal.

Paso 4: Seleccionar curva en X, Y, Z, como se muestra en la imagen 5.

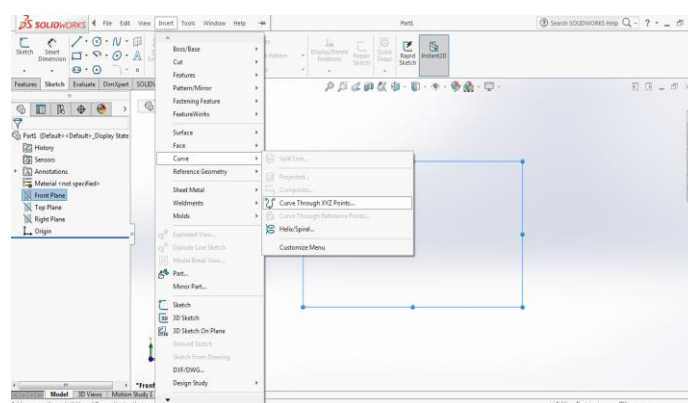


Imagen 5. Selección de curva X, Y, Z.

Paso 5: Se abra una ventanilla automaticamente piendolas coodenadas, seleccionas buscar,ver imagen 6.

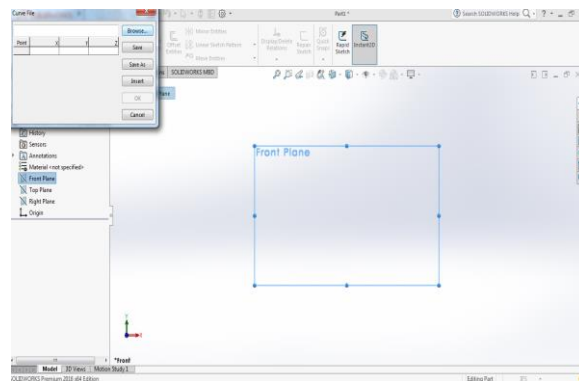


Imagen 6. Ventanilla de coordenadas.

Paso 6: Seleccionas el archivo donde tienes las coordenadas, (abrir una nota previa e introducir las coordenadas). Nota: Tipo de archivo cambiarlo a texto, ver imagen 7.

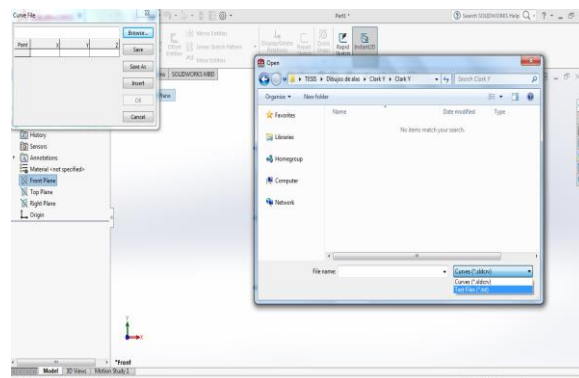


Imagen 7. Selección de archivo de cordenada.

Paso 7: Seleccionas el archivo correspondiente en este caso el Clark Y, ver imagen 8.

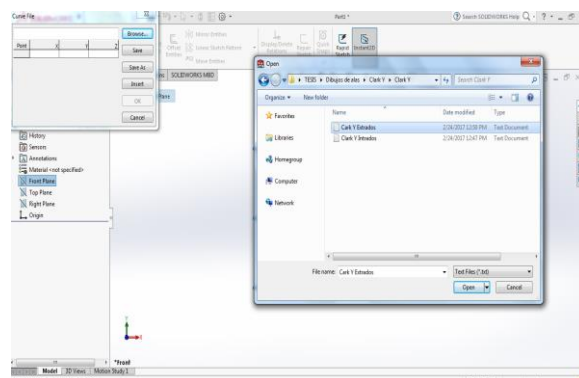


Imagen 8. Abrir archivo de cordendas.

Paso 8: Precionar OK para cerrar la ventana, en ese momento ya están cargadas, generando la línea de intrados o extrados según tus selecciones, ver imagen 9.

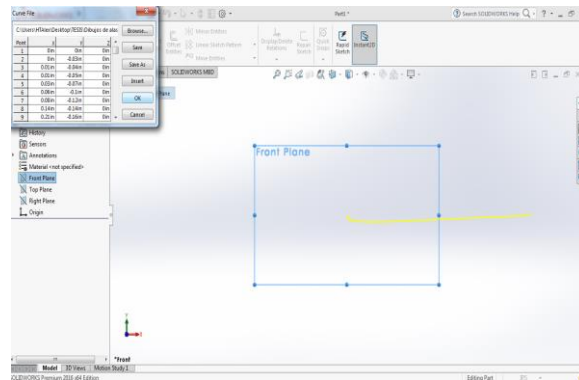


Imagen 9. Código de cordenadas cargadas.

Paso 9: Se repite del paso 4 Seleccionar cura en X, Y, Z, como se muestra en la imagen 10.

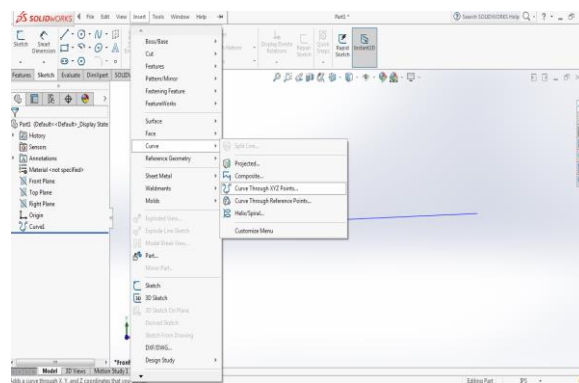


Imagen 10. Repetir paso 4.

Paso 10: Se repite paso 5, se abre una ventanilla automáticamente pinchando las coordenadas, seleccionas buscar, ver imagen 11.

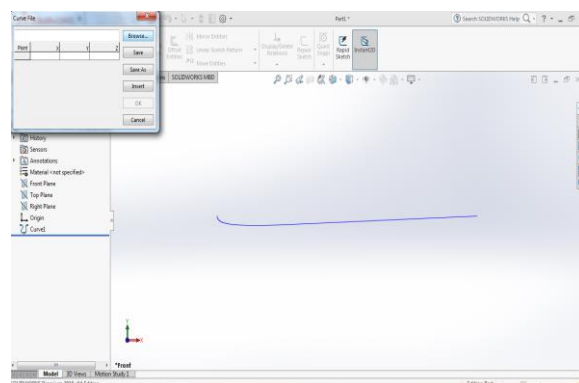


Imagen 11. Repetir paso 5.

Paso 11: Se repite el paso 6, seleccionas el archivo donde tienes las coordenadas, (abrir una nota previa e introducir las coordenadas), ver imagen 12. Nota: Tipo de archivo cambiarlo a texto.

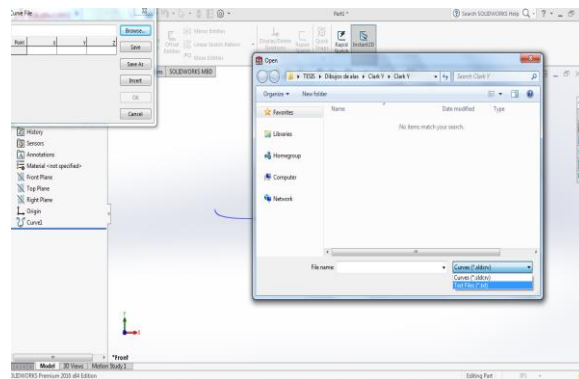


Imagen 12. Repetir paso 6.

Paso 12: Se repite el paso 7, Seleccionas el archivo correspondiente en este caso el Clark Y, como se muestra en la imagen 13.

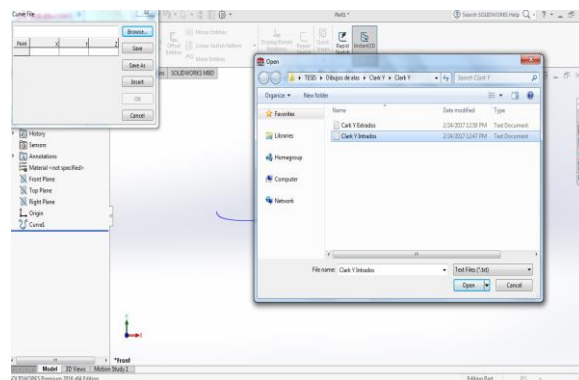


Imagen 13. Repetir paso 7.

Paso 13: se repite el paso 8, Precionar OK para cerrar la vntanilla, en ese momento ya estan cargadas , generando la linea de intrados o extrados según tu selecciones, ver imagen 14.

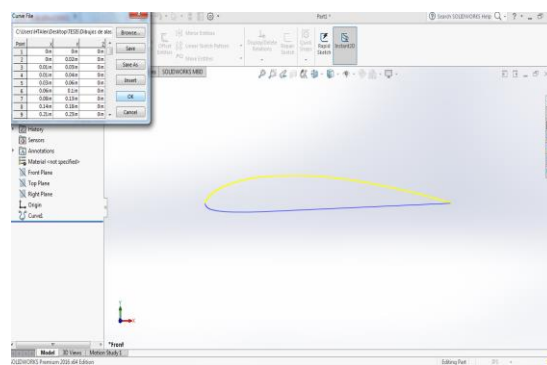


Imagen 14. Repetir paso 8.

Paso 14: Al completar los pasos anteriores de debe de ver de esta forma tu modelo, como se muestra en la imagen 15.

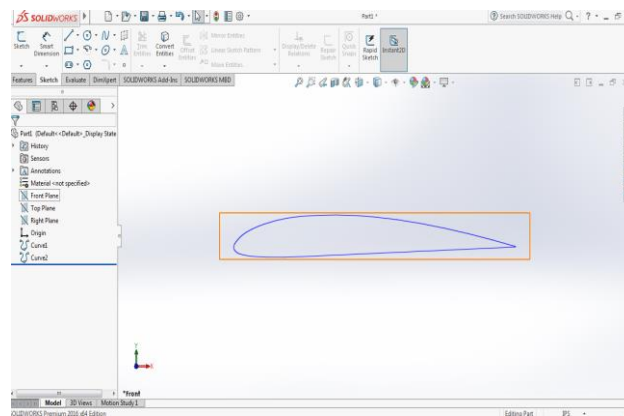


Imagen 15. Coordenadas introducidas.

Paso 15: seleccionar sketch para dibujar una linea, como se muestra en la imagen 16.

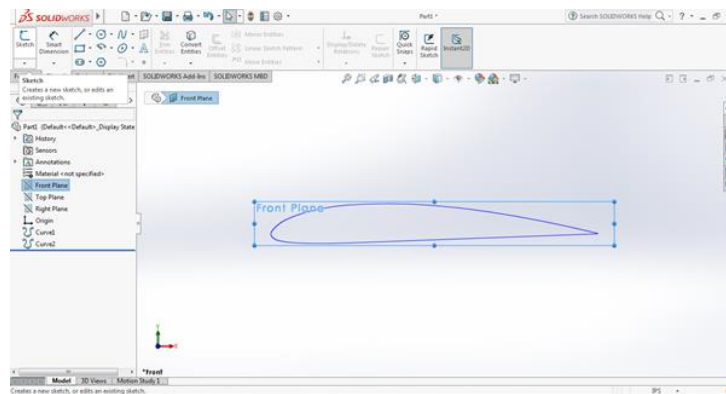


Imagen 16. Seleccionar sketch.

Paso 16: Seleccionar plano frontal y convertir entidades, como se muestra en la imagen 17.

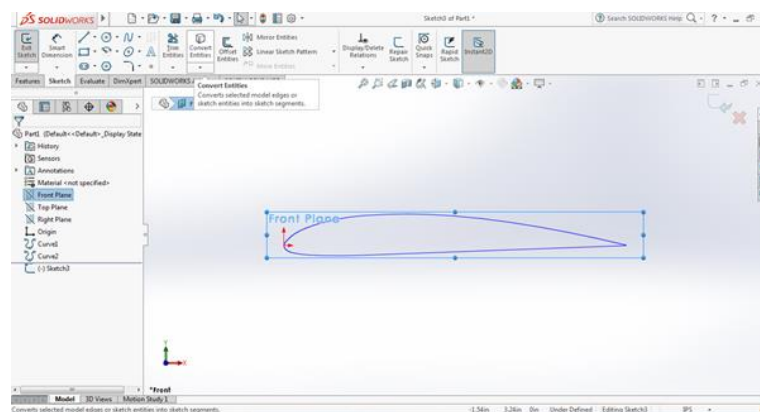


Imagen 17. Convertir entidades.

Paso 17: Seleccionar las dos coordenadas del ala, el intrados y extrados, presionar la palomita verde al terminar de seleccionarlos, como se muestra en la imagen 18.

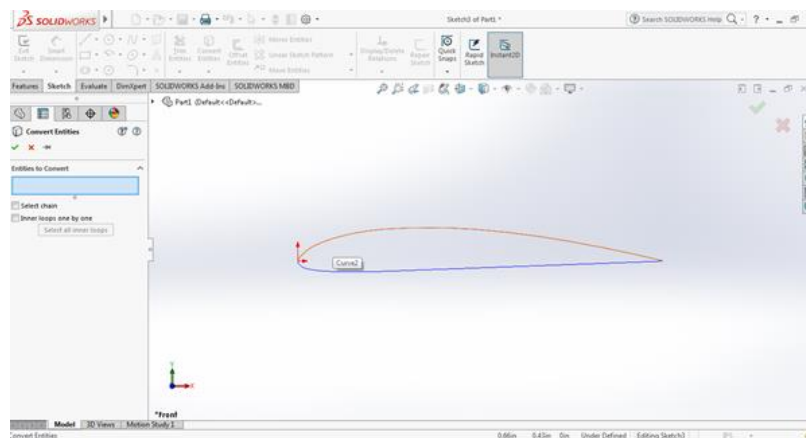


Imagen 18. Selección de coordenadas en ala.

Paso 18: Ya que las entidades están hechas, tomamos el plano frontal y hacemos un sketch y tomamos la herramienta de línea, como se muestra en la imagen 19.

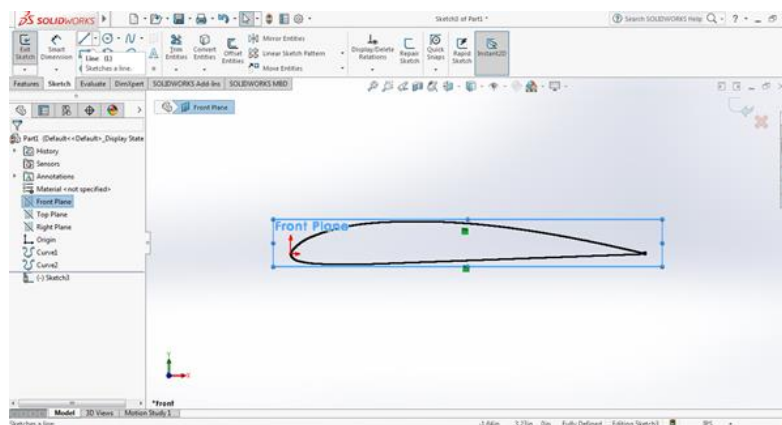


Imagen 19. Selección de línea en sketch.

Paso 19: Trazamos una línea en el borde de salida entre el extrados e intrados para cerrar el dibujo, ver imagen 20. Nota: hacer zoom para ver mejor el dibujo.

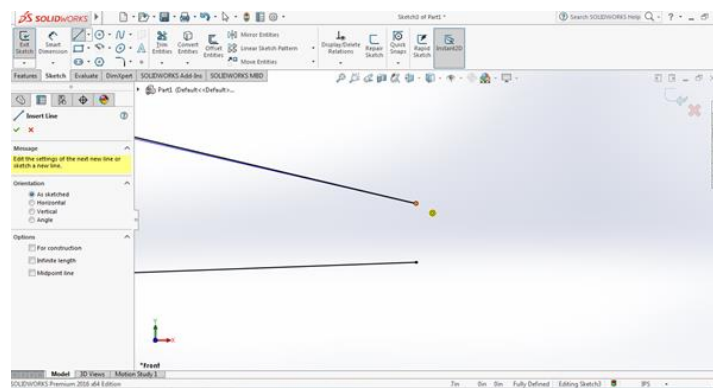


Imagen 20. Trazar línea en borde de salida.

Paso 20: Ya que nuestro dibujo este completado, lo guardamos en un archivo DXF, como se muestra en la imagen 21.

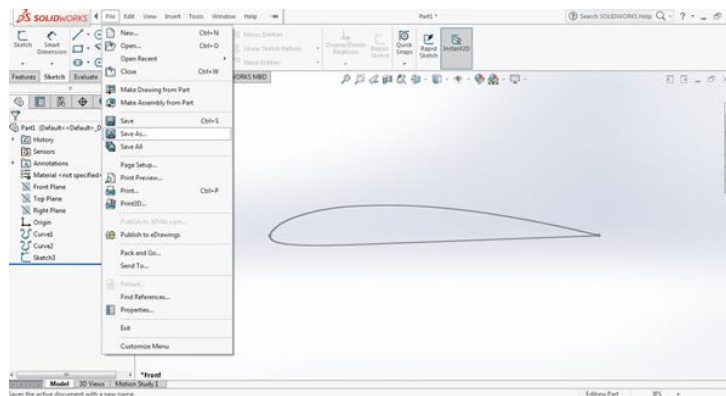


Imagen 21. Guardar archivo en DXF.

Paso 21: Se abrirar el dibujo, seleccionamos la palomita verde, y una ventanilla negra se abrirar, pondremos save y nuestro archivo de dibujo quedara guardado en DXF listo para usarse en la maquina CNC, como se muestra en la imagen 22.

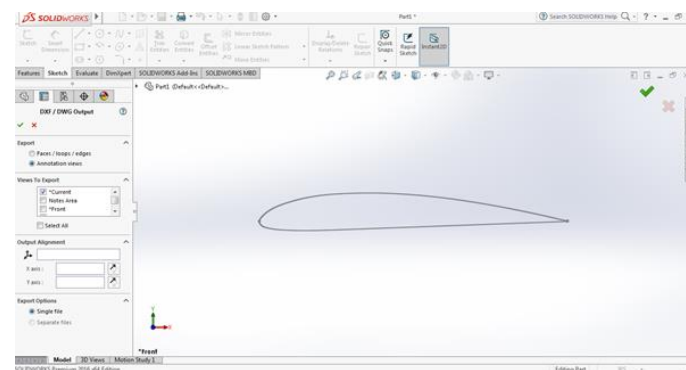


Imagen 22. Archivo guardado en DXF.

5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
	Reporte en formato tipo artículo.
6	ANEXOS
	Coordenadas del perfil Clark Y
7	REFERENCIAS
	• http://www.larevistainformatica.com/DISENO-ASISTIDO-COMPUTADORA.HTML • https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks

CARRERA		PLAN DE ESTUDIO	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ing. Aeroespacial				Mecánica de materiales
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	Aeroespacial		DURACIÓN (HORAS)
2	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Generar código CNC para realizar modelos		2
1	INTRODUCCIÓN			
CNC Significa "Control Numérico Computarizado". En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales. En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina esta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. En el caso de una industria o un taller, esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo. El término "Control Numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darían los siguientes códigos de la imagen 1: G90 G71 (cotas absolutas referidas al punto 0,0; Programación en mm) G00 X0.0 Y0.0 (posicionamiento rápido lineal al punto 0,0 del plano XY) G01 X10.0 (movimiento lineal de 10mm en la dirección X positiva) G01 Y10.0 (movimiento lineal de 10mm en la dirección Y positiva) G01 X0.0 (movimiento lineal de 10mm en la dirección X negativa) G01 Y0.0 (movimiento lineal de 10mm en la dirección Y negativa)				
2	COMPETENCIA			
Generar un modelo a partir de programación CAM en CNC.				

3	FUNDAMENTO
Para la realización de un programa de maquinado se pueden utilizar dos métodos: Programación Manual: En este caso, el programa pieza se escribe únicamente por medio de razonamientos y cálculos que realiza un operario. Programación Automática: En este caso, los cálculos los realiza un computador, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje máquina.	
4	PROCEDIMIENTO
A	DESARROLLO DE LA PRACTICA
A partir de un modelo en DXF se crea el código de corte, como se muestra en la siguiente imagen 2. Imagen 2. Archivo DXF. Con los siguientes pasos podras generar el codigo de corte. Paso 1: tener instalado VcarvePro, es el software en el cual se generar el corte del modelo, com se muestra la imagen 3. Imagen 3. Programa VCarevePro.	

Paso 2: Abrir el programa, veras que hay dos opciones créate a new file u open existing file como se muestra en la imagen 4.

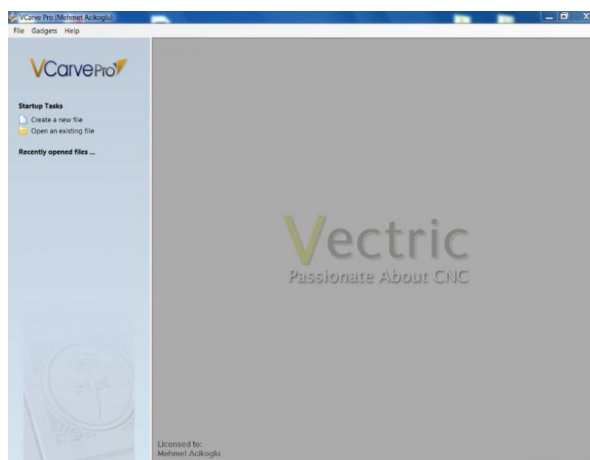


Imagen 4. Opciones de programa.

Paso 3: Dar click en File, buscar y le das en el archivo que creaste en DXF, en ese momento aparecerá una imagen, ver imagen 5.

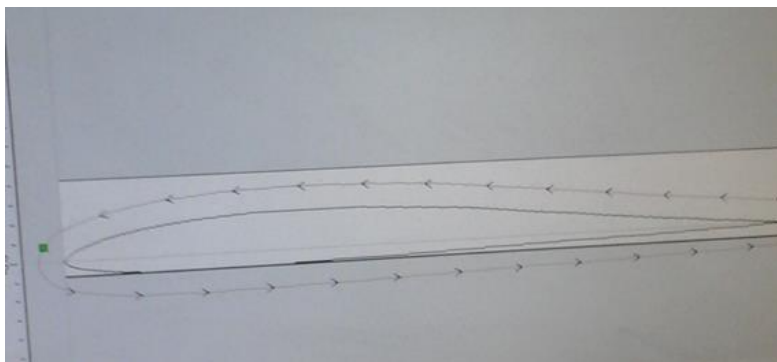


Imagen 5. Imagen de archivo DXF.

Paso 4: das clic en 3D, ver imagen 6.

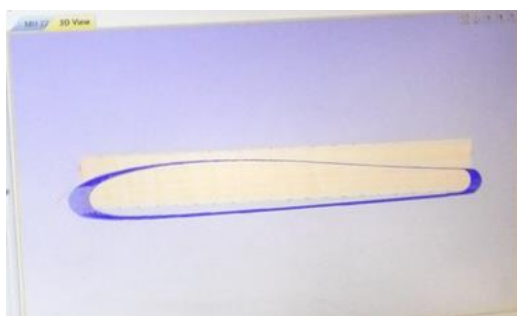


Imagen 6. Corte en 3D.

Paso 5: Introducir los parámetros de altura y longitud del modelo, como se muestra en la imagen 7, seccionar el comienzo del corte, una vez definido todo, dar click en OK.

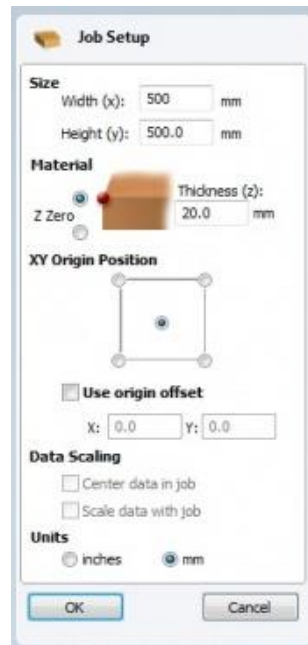
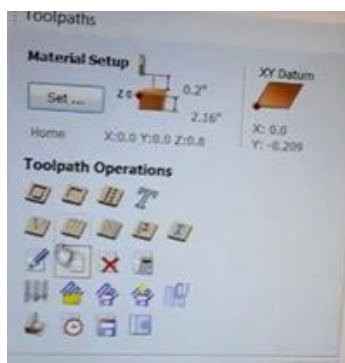
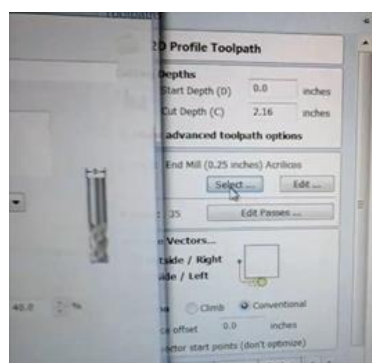


Imagen 7. Parámetros de corte en CNC.

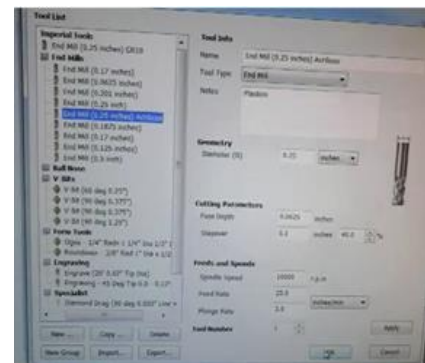
Paso 6: Seleccionar el tipo de material, imagen 8 (A), tipo de corte y el tamaño del cortador, imagen 8 (B) dependiendo del material, es el tipo de cortador que utilizarás, y las velocidades a las cuales el corte debe ser generado, imagen 8 (C).



(A)



(B)



(C)

Imagen 8. Seleccionando características para el corte: (A) Tipo de material. (B) Tamaño de cortador. (C) Velocidad de corte.

Paso 7: se añaden taps, ver imagen 9, que hacen que el material se mantenga en posición, y evitar que la pieza salga volando.

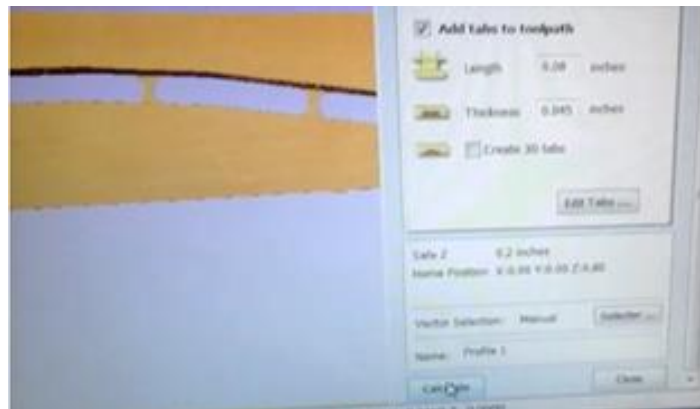


Imagen 9. Añadiendo taps.

Paso 9: Calcular el corte, seleccionar profile de corte, y dar click en calcula, ver imagen 10.

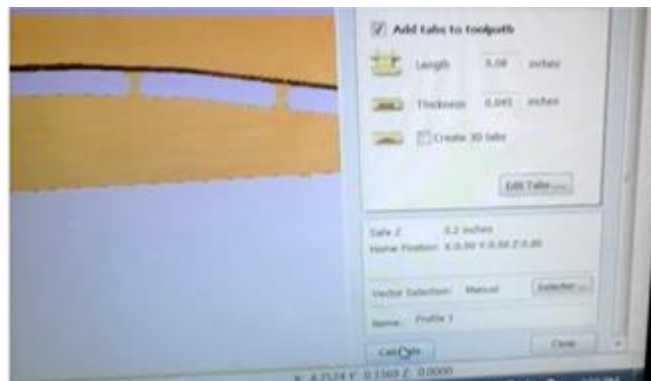


Imagen 10. Calculo de corte.

Paso 10: Dar click en play y empezara la simulación de corte, como se muestra en la imagen 11.

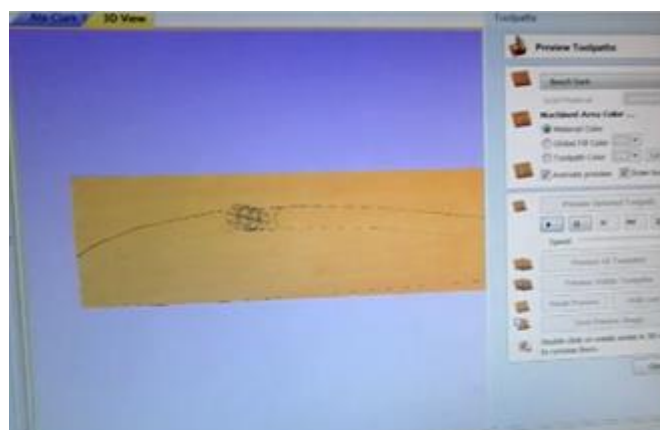
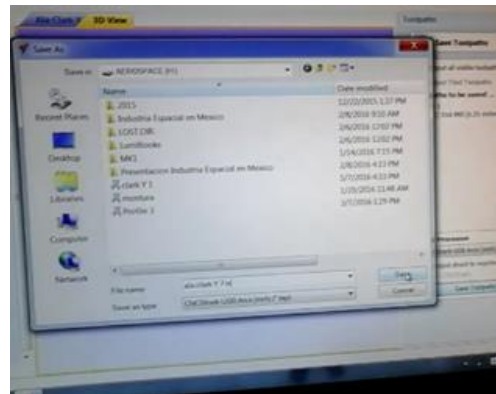


Imagen 11. Simulación de corte en CNC.

Paso 11: Seleccionar Profile, imagen 12 (A), save y renombrar archivo, imagen 12 (B).



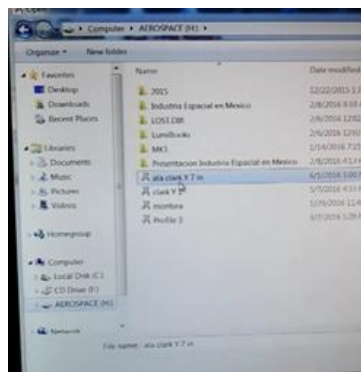
(A)



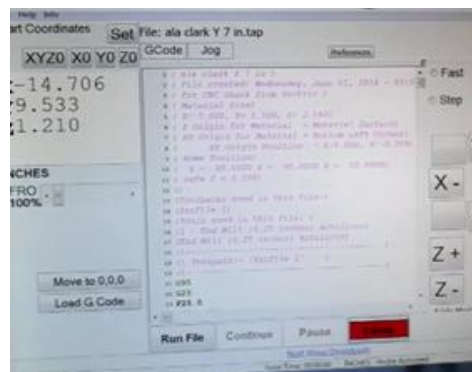
(B)

Imagen 12. Guardar archivo: (A) Seleccionar el perfil. (B) Nombrar el archivo.

Paso 12: abrir el programa CNC Shark y seleccionar el código, seleccionar el archivo, imagen 13 (A) y automáticamente se genera el código, imagen 13 (B).



(A)



(B)

Imagen 13. Buscando nuestro código G: (A) selecciona el código G. (B) Cargar el programa.

Paso 13: Centrar el cortado, seleccionar JOG, de esta manera podrás mover la maquina en x, y, z, selecciona la velocidad según sea necesario, como se muestra en la imagen 14.

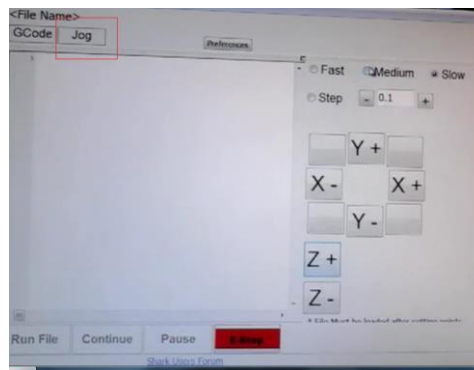


Imagen 14. Ajustar la maquina CNC a la pieza.

Paso 14: correr el programa (Load G code), presionar ok, ver imagen 15.

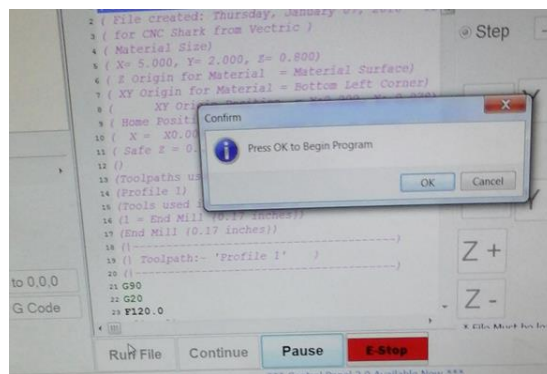
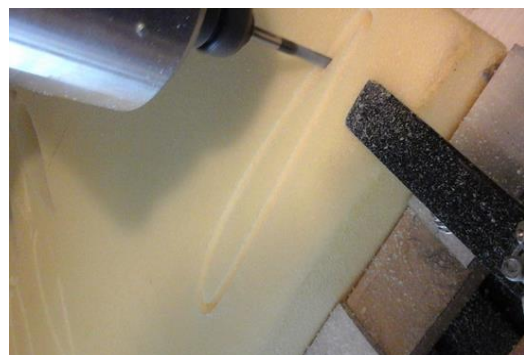


Imagen 15. Correr el código G.

La máquina comenzara a cortar el modelo, como se muestra en la imagen 16.



(A)



(B)

Imagen 16. Cuidando la máquina para el corte: (A) Iniciando el corte. (B) El programa corre.

B	REPORTE
Anexar código G, modelo en formato DXF, evidencia de corte.	
5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
Reporte en formato tipo artículo.	
6	ANEXOS
DXF (acrónimo del inglés Drawing Exchange Format) es un formato de archivo para dibujos de diseño asistido por computadora, creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG, usados por el programa AutoCAD, y el resto de programas del mercado	
7	REFERENCIAS
http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/737_ca.pdf http://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)	

CARRERA		PLAN DE ESTUDIO	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ing. Aeroespacial				Mecánica de materiales
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	Aeroespacial		DURACIÓN (HORAS)
3	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Construcción del modelo y moldeo con silicona.		6
1	INTRODUCCIÓN			
Silicón RTV-490, ver imagen 1, es una masa extensible de caucho de silicón que vulcaniza a temperatura ambiente y especialmente apropiada para su aplicación en moldes elásticos, permite la incorporación de aceite de silicón (diluyente) que aumenta la fluidez, facilita su manejo y rinde para un gran número de coladas. Si se pone una proporción exagerada de aceite de silicona, además de disminuir sus propiedades mecánicas, baja considerablemente el número de coladas, se recomienda usar un máximo de 25% de aceite de silicón. La mínima contracción posible del caucho de silicón puede alcanzarse evitando porcentajes de catalizador mayores de 2%, un vulcanizado libre de burbujas puede obtenerse haciendo el vacío en la masa catalizada mediante agitación, así pueden ser también eliminadas las burbujas introducidas al mezclar el endurecedor. Antes de utilizar este material es recomendable usar guantes de protección ya que el material es muy pegajoso y difícil de quitar.				
				
Imagen 1. Hule de silicón RTV-490.				
2	COMPETENCIA			
Generar un modelo por el método de moldeo con silicona blanca, con el fin de ver los esfuerzos en el banco fotoelástico.				
3	FUNDAMENTO			

El Moldeo con Silicona Líquida es un proceso termoestable que combina una mezcla de dos componentes y procede a su endurecimiento térmico en un molde usando un catalizador de platino para obtener una pieza final.

4	PROCEDIMIENTO	
A	EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
	-Material para construcción de una caja -Silicona RTV-490 (con diluyente) -Espuma de polycarburo -Bascula	-Guantes -Desmoldante -Envases de pastico (para silicón y resina) -Navaja
B	DESARROLLO DE LA PRACTICA	

Una vez que los se tienen los cortes en la CNC listo, el tercer paso es unirlos con pegamento epóxico de secado rápido, tal como se muestra en la imagen 2. Se utilizó este porque es resistente, transparente y de alta duración. Con los perfiles pegados se da un acabado al ala completa, para esto se utiliza una lija de grado 100 en seco para quitar todo exceso de material del modelo como se puede ver en la imagen 3, el lijado debe ser suave y delicado ya que el material no es resistente y puede romperse con facilidad, el modelo quedara listo para el siguiente paso, tal como se muestra en la imagen 4.

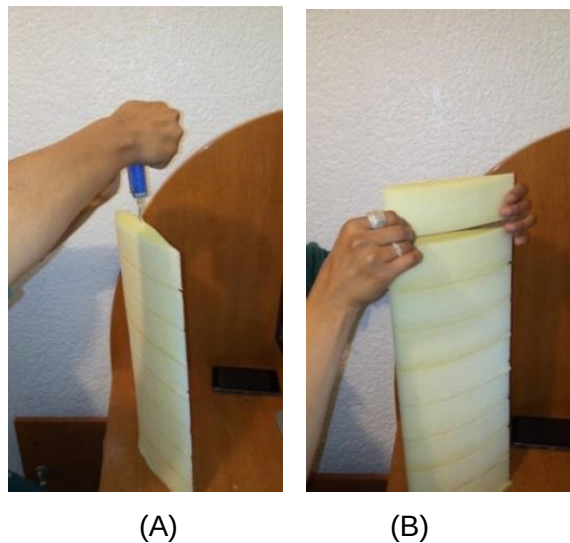


Imagen 2. Pegando las piezas de poli carburo: (A) Aplicando pegamento en una sección, (B) Uniendo una pieza con otra.



Imagen 3. Lijado del modelo para un mejor acabado.



Imagen 4. Modelo con acabado fino.

1. Acabado del modelo

Una vez que el modelo ha sido pulido está listo para aplicarle color car rellenedor plástico (mejor conocido como bondo), este producto esta formulado a base de resina poliéster que le ofrecen excelentes propiedades de adherencia, lijado, moldeo, flexibilidad y dureza. Para utilizar el material la superficie por resanar debe estar seca, limpia, libre de polvo, grasa o cualquier otro tipo de contaminante. El producto debe mezclarse antes de utilizarlo como se ve en la imagen 5, en este caso un 2% de catalizador, se mezcla perfectamente hasta formar una pasta homogénea y de color uniforme, lo que sobre de la pasta catalizada se debe desechar y no preparar más producto del que pueda aplicar entre 5 y 7 minutos. Ya que se tiene preparada la pasta se aplica inmediatamente con una cuña, de hule o de plástico, ver imagen 6 (A), aplicar manos delgadas y uniformes sobre la superficie del ala hasta tenerla completamente cubierta, ver imagen 6 (B), se deja 30 minutos antes de lijar y se utiliza una lija de grado 80 en seco para quitar las grandes imperfecciones como se ve en la imagen 7 (A) y después se puede utilizar una lija de grado 180 en seco para darle un acabado limpio y liso, imagen 7 (B).



Imagen 5. Mezcla de color car rellenador plástico con 2% de catalizador.



(A)



(B)

Imagen 6. Aplicación de bondo con cuña de hule: (A) Aplicación inmediata de bondo, (B) Aplicación de manos delgadas uniformes de bondo.



(A)



(B)

Imagen 7. Ala lista para lijado: (A) Ala con imperfecciones después de secado, (B) Último lijado para un mejor acabado.

El ala o modelo quedara cubierta de color car rellenador plástico, limpia, lisa y más resistente.

Es necesario adquirir el material gelcoat, en este caso es centergel GD 002 blanco, es un gelcoat blanco ortoftálico modificado con resina isoftálica, para aplicaciones de usos generales donde se requiera un buen desempeño. Tiene muy buen poder cubriente y buena retención del brillo. Se vierte en un recipiente el gelcoat, y con la ayuda de una báscula por cada 100 g de gelcoat se añade 1.5 g de catalizador, batir la mezcla por 1 minuto ya que el período de tiempo de la mezcla inicial de los reactantes de la composición del material líquido son de 8 a 13 minutos, usando una brocha para aplicar el gelcoat sobre el ala así como se ve en la Imagen 8, se aplican capas delgadas y uniformes sobre la superficie hasta que esté completamente cubierta, el intervalo de gel-curado es de 40 minutos, para mayor seguridad de secado esperamos 60 minutos ya que se va a volver a lijar. El ala estará completamente cubierta de gelcoat pero con muchas imperfecciones, se compran lijas de agua de grado 100, 400, 600, 1200 y 2000, y se lija a mano hasta que la superficie quede sin imperfecciones, ver Imagen 9, hasta llegar a la lija de grado 2000. Una vez que se termina de lijar en agua, se colocan tres capas de esmalte acrílico transparente de secado rápido, como se muestra en la Imagen 10.



Imagen 8. Aplicación de gelcoat sobre el ala con una brocha.



(A)

(B)

(C)

(D)

(E)

Imagen 9. Lijado en agua el ala con gelcoat: (A) Lija grado 100, (B) Lija grado 400, (C) Lija grado 600, (D) Lija grado 1200, (E) Lija grado 2000.



Imagen 10. Aplicación de esmalte acrílico transparente al ala.

2. Proceso de moldeo con silicona blanca

Una vez que el ala está limpia, lisa y libre de imperfecciones, se inicia la construcción de una caja para hacer el molde del ala, en este trabajo se optó por construir la caja con madera blanca, las dimensiones de la misma son: 0.65x0.25x0.10 m. Al interior de la caja se aplica desmoldante como se indica en la Imagen 11, ya que esto ayuda a quitar de una manera segura, rápida y sencilla el silicón de las paredes de la caja de madera. Una vez que se construye la caja se rellena con silicón con el perfil alar fijo en el interior.



Imagen 11. Aplicación de desmoldante en caja de madera.

El material utilizado para construir el molde es hule de silicón RTV-490, el cual es una masa extensible de caucho de silicón que vulcaniza a temperatura ambiente y especialmente apropiada para su aplicación en moldes elásticos en los que se han de colocar resina poliéster, permite la incorporación de aceite de silicón (diluyente) que aumenta la fluidez, facilita su manejo y rinde para un gran número de coladas. Si se pone una proporción exagerada de aceite de silicona, además de disminuir sus propiedades mecánicas, baja considerablemente el número de coladas, se recomienda usar un máximo de 25% de aceite de silicón. La mínima contracción posible del caucho de silicón puede alcanzarse evitando porcentajes de catalizador mayores de 2%, un vulcanizado libre de burbujas puede obtenerse haciendo el vacío en la masa catalizada mediante agitación, así pueden ser también eliminadas las burbujas introducidas al mezclar el endurecedor. Para el uso de este material es recomendable utilizar guantes de protección ya que el material es muy pegajoso y difícil de quitar. La cantidad de silicón que se utilizó para el llenado de la caja fueron 4 kilos, el procedimiento seguido fue del siguiente modo: se vierte 1 kilo silicón en un recipiente, como se muestra en la Imagen 12, se añade solo diluyente y se agita la mezcla, la cantidad de diluyente depende de la textura deseada, se golpea el envase para que las burbujas disminuyan y no se tengan imperfecciones al momento del secado. Ya que este diluido, se introducen 20 ml de catalizador y se agita la mezcla, de igual manera se golpea el envase ya que el material empieza a endurecerse, de una manera cuidadosa se vacía el silicón en la caja de madera como se indica en la Imagen 13, se llena la caja con el material y deberán esperarse 24 horas para el secado. Una vez que transcurrió el tiempo señalado se desarma la caja de madera como se muestra en la Imagen 14, ya que el molde está completamente descubierto se usa una navaja y con precaución se realiza un corte para abrir el molde de silicón y extraer lentamente el perfil alar, tal como se indica en la Imagen 15.

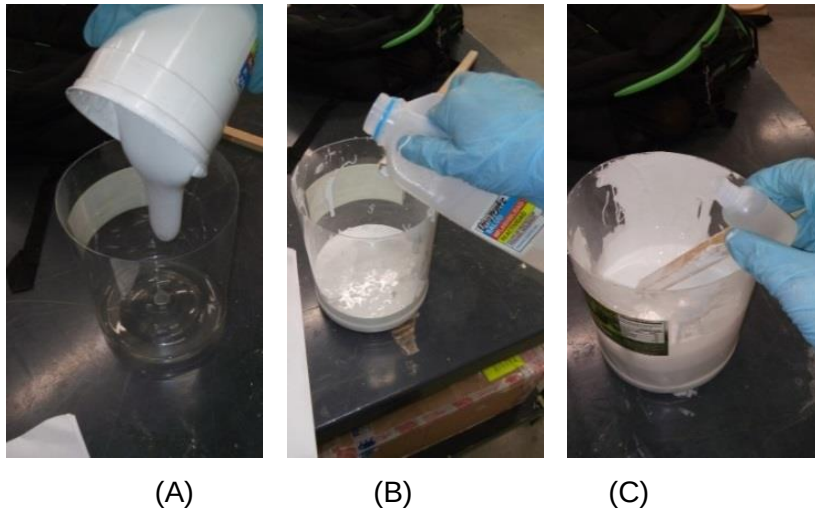


Imagen 12. Mezcla de silicón: (A) Vaciar 1 kilo en recipiente, (B) Añadir diluyente, (C) Añadir catalizador.



Imagen 13. Vaciado de silicón al molde.



Imagen 14. Desmontaje de caja de madera.

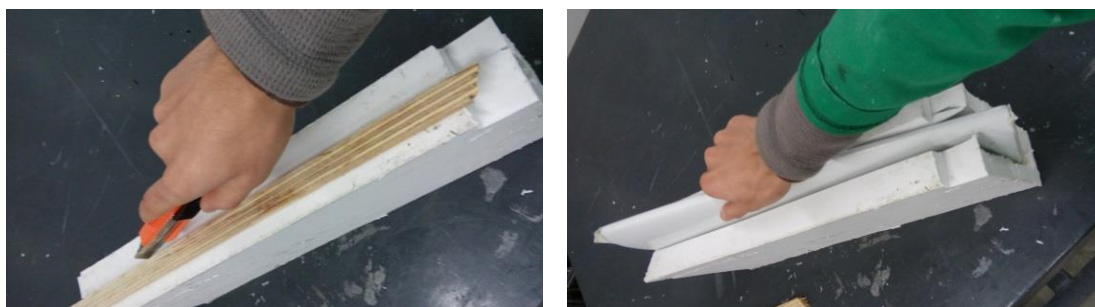


Imagen 15. Corte de silicón con navaja y extracción de molde.

3. Modelos de resina cristalina

Cuando el molde de silicón queda terminado, se introduce en un recipiente que ayudará a mantenerlo fijo y permitirá introducir con facilidad la resina cristalina. La resina cristalina que se utiliza en esta investigación es el polylite 010-14-G, que es una resina poliéster no saturada, especialmente diseñada para botones y encapsulados, en donde la claridad y el color son de primordial importancia. Para el proceso de inyección de la resina se deben utilizar guantes, lentes y mascarilla de protección. Por cada 100 g de resina se añade 1.7 g de catalizador, el período de tiempo de la mezcla inicial de los reactantes de la composición del material líquido son de 5 a 7 minutos, se mezclan los elementos durante 1 minuto y se vacía la resina en el molde de silicón, tal como se observa en la Imagen 16, el tiempo de curado de la resina cristalina es de 15 a 23 minutos, sin embargo, se dejará 30 minutos para que el material empiece a enfriarse. Ya que la resina cristalina ha secado se retira el molde de silicón como se muestra en la Imagen 17, se debe tener cuidado en el manejo del molde por que la temperatura es elevada.



Imagen 16. Inyección de resina cristalina en molde de silicón.



Imagen 17. Extracción del ala del molde de silicón.

Para que el molde del perfil alar de resina cristalina presente un mejor acabado, se utilizan lijas de agua de grado 100, 400, 600, 1200 y 2000. Después de lijar el ala quedará opaca, pero limpia y lisa, por lo que se coloca una capa de esmalte acrílico transparente de secado rápido, como se muestra en la Imagen 18, si la aplicación del esmalte se escurre o no se cubre toda el área de la pieza no se debe aplicar otra capa, en lugar de ello deberá quitarse el esmalte y repetir la operación.



Imagen 18. Una sola aplicación de esmalte acrílico transparente.

C	REPORTE									
Evidencia de molde.										
5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES									
Reporte en formato tipo artículo.										
6	ANEXOS									
El silicón blanco RTV-490 vulcaniza a temperatura ambiente, mezclándolo con catalizador en las proporciones abajo indicadas: <table><tr><td>Catalizadores</td><td>Tiempo de Elaboración</td><td>Tiempo de Vulcanización</td></tr><tr><td>2-3% TSC</td><td>10-15 MINUTOS</td><td>3-4 HORAS</td></tr><tr><td>2.0% TS</td><td>30-35 MINUTOS</td><td>8-12 HORAS</td></tr></table> *1 kilo = 20 ml de catalizador Para alcanzar sus plenas propiedades mecánicas, después del desmoldeo, el caucho debe estar por lo menos 24 horas al descubierto antes de ser utilizado para colar resinas epoxi, el molde de caucho de silicón debe ser calentado durante unas 15 horas a 60-100°C, entre los procesos de colado, permite aumentar esencialmente la vida de los moldes.		Catalizadores	Tiempo de Elaboración	Tiempo de Vulcanización	2-3% TSC	10-15 MINUTOS	3-4 HORAS	2.0% TS	30-35 MINUTOS	8-12 HORAS
Catalizadores	Tiempo de Elaboración	Tiempo de Vulcanización								
2-3% TSC	10-15 MINUTOS	3-4 HORAS								
2.0% TS	30-35 MINUTOS	8-12 HORAS								
7	REFERENCIAS									
https://www.protolabs.es/servicios/moldeo-por-inyeccion/silicona-liquida/										

CARRERA		PLAN DE ESTUDIO	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ing. Aeroespacial				Mecánica de materiales
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	Aeroespacial		DURACIÓN (HORAS)
4	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Visualización de esfuerzos en perfiles alares con modelos de resina cristalina		4
1	INTRODUCCIÓN			
El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado diagrama de esfuerzo y deformación. Los diagramas son similares si se trata del mismo material y de manera general permite agrupar los materiales dentro de dos categorías con propiedades afines que se denominan materiales dúctiles y materiales frágiles. Los diagramas de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la rotura, mientras que los frágiles presentan un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura. ESFUERZO Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia. $\sigma=P/A \tag{1}$ Dónde: $P \equiv$ Fuerza axial $A \equiv$ Área de la sección transversal				

DEFORMACIÓN

La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan cargas aplicadas. Una barra sometida a una fuerza axial de tracción aumentará su longitud inicial; se puede observar que bajo la misma carga pero con una longitud mayor este aumento o alargamiento se incrementará también. Por ello definir la deformación (ϵ) como el cociente entre el alargamiento δ y la longitud inicial L , indica que sobre la barra la deformación es la misma porque si aumenta L también aumentaría δ . Matemáticamente la deformación sería:

$$\epsilon = \delta/L \quad (2)$$

DIAGRAMA

El diagrama es la curva resultante graficada con los valores del esfuerzo y la correspondiente deformación unitaria en el espécimen calculado a partir de los datos de un ensayo de tensión o de compresión, como se muestra en la imagen 0.

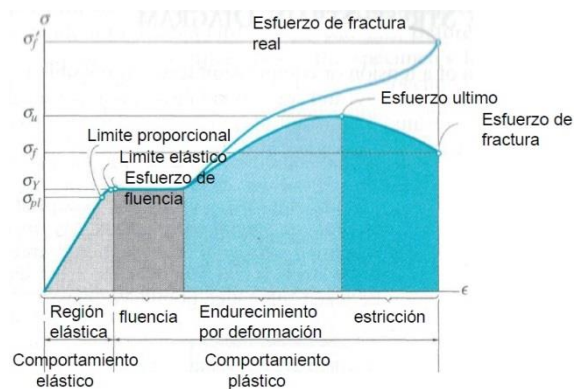


Imagen 0. Diagrama esfuerzo-deformación.

2

COMPETENCIA

Generar un modelo de resina cristalina por el método de moldeo con silicona blanca, con el fin de ver los esfuerzos en el banco fotoelástico.

FOTELASTICIDAD

La fotoelasticidad es un método para el análisis en el registro de tensiones mecánicas en componentes usados, como por ejemplo en aeroespacial, perfiles alares o modelos, este método se emplea para el análisis, registro y visualización de esfuerzos en modelos plásticos, en este caso se utiliza la resina cristalina para realizar estos modelos, utilizando el banco de fotoelasticidad el cual emitiendo luz polarizada se estudia y observa la distribución de los esfuerzos como se muestra en la imagen 1. Estos filtros de polarización permiten observar, estudiar y analizar los esfuerzos aplicados.



Imagen 1. Visualización de esfuerzos de una pieza.

La concentración de esfuerzos ha sido un gran obstáculo que los ingenieros deben enfrentar al diseñar un elemento que requiera cambios súbitos de su geometría, debido a que tenemos el esfuerzo constante y el tangencial, es de vital importancia encontrar la concentración del esfuerzo en el elemento.

El esfuerzo constante se refiere al esfuerzo que el elemento soporta al estar sometido a una carga mientras que el tangencial se debe a secciones que tienen un cambio pronunciado en la geometría, cortes o barrenos.

- Resina cristalina polylite 010-14-G
- Bascula
- Guantes
- Envases de plástico (para silicón y resina)

B	DESARROLLO DE LA PRACTICA
----------	----------------------------------

- Vaciar la resina cristalina al molde de silicona (Esperar el tiempo de secado de la resina cristalina).
- Adaptar el modelo al banco fotoelástico.
- Observar el comportamiento al someter el modelo a una carga.

C	CÁLCULOS Y REPORTE
----------	---------------------------

Angulo del disco del banco y sección de medición de la pieza	Características de franja isocromática (color y numero de orden)	Tipo de esfuerzo

5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
----------	----------------------------------

Reporte en formato tipo artículo.

6	ANEXOS
----------	---------------

PROPIEDADES

PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LÍQUIDA @ 25 °C

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	69 – 71	RQMPEA-0040
Viscosidad Gardner-Hold	s/u	Registro	RQMPEA-0001
Viscosidad Brookfield, LVF, 4/60	cPs	1250 – 1350	RQMPEA-0002
Número ácido base sólidos	mg KOH /g muestra	18 – 35	RQMPEA-0026
Tiempo de gel *	minutos	5 – 7	RQMPEA-0066
Tiempo de curado *	minutos	15 – 23	RQMPEA-0066
Temperatura de exoterma *	°C	145 – 160	RQMPEA-0066
Color APHA (máximo)	Pt-Co	15	RQMPEA-0021
Libras / galón	lb/gal	Registro	RQMPEA-0013
Estabilidad @ 105 °C (mínimo)	horas	Registro	RQMPEA-0118
Tiempo de vida mínimo en almacenamiento	meses	3	

* 100 g resina + 0.5 g Cobalto at 1% + 1.7 ml MEKP (Butanox M-50) @ 25°C

El silicón blanco RTV-490 vulcaniza a temperatura ambiente, mezclándolo con catalizador en las proporciones abajo indicadas:

Catalizadores	Tiempo de Elaboración	Tiempo de Vulcanización	
2-3% TSC	10-15 MINUTOS	3-4 HORAS	
2.0% TS	30-35 MINUTOS	8-12 HORAS	*1 kilo = 20 ml de catalizador

TABLA 1: Características de franja isocromática

Color	Declaración relativa aproximada (longitud de onda)		Numero de orden (N)
	nm	$\text{In} \times 10^{-6}$	
Negro	0	0	0
Gris	160	6	0.28
Blanco	260	10	0.45
Amarillo pálido	345	14	0.60
Naranja	460	18	0.80
Rojo apagado	520	20	0.90
Morado (color de paso)	570	22.7	1.00
Azul profundo	620	24	1.08
Verde-azul	700	28	1.22
Verde-amarillo	800	32	1.39
Naranja	935	37	1.63
Rojo rosa	1050	42	1.82
Morado (color de paso)	1150	45.4	2.00
Verde	1350	53	2.35
Verde-amarillo	1440	57	2.50
Rojo	1520	60	2.65
Rojo-verde	1730	68	3.00
Transición			
Verde	1800	71	3.10
Rosa	2100	83	3.65
Rosa-verde	2300	90.8	4.00
Transición			
verde	2400	95	4.15

7

REFERENCIAS

<http://mecatronica4b.blogspot.mx/2011/11/diagrama-esfuerzo-deformacion-unitaria.html>
<http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/Diagramas-esfuerzo-deformaci%C3%B3n-unitaria-convencional-y-real-para-un-material-d%C3%BActil-acero-no-de-escala.jpg>
<http://www.fotolog.com/elisuk/40403069/>
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/calculo-de-maquinas/material-de-clase-1/12Tema12.pdf>