

# Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California  
según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**CETYS**<sup>®</sup>  
**UNIVERSIDAD**

## **ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FATIGA EN PLANTILLAS DE COSTURA AUTOMOTRIZ EN RELACIÓN AL TIPO DE MATERIAL UTILIZADO**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Ahuizotl López López**

Directora:

Dr. Dalia Holanda Chávez García

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Ensenada, Baja California, México 2019

# **ANALISIS DE ESFUERZOS Y FATIGA EN PLANTILLAS DE COSTURA AUTOMOTRIZ EN RELACION AL TIPO DE MATERIAL UTILIZADO**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Ahuizotl López López**

Y aprobada por el siguiente Comité

---

Dra. Dalia Holanda Chávez García  
Directora

---

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda  
Síno

---

M.C Amanda Georgina Nieto Sánchez  
Síno

---

**M.C Amanda Georgina Nieto Sánchez**  
**Coordinador del Posgrado en Ingeniería**

*Ahuizotl López López © 2019*

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor*

Resumen de la tesis que presenta **Ahuizotl López López** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

## **ANALISIS DE ESFUERZOS Y FATIGA EN PLANTILLAS DE COSTURA AUTOMOTRIZ EN RELACION AL TIPO DE MATERIAL UTILIZADO**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Dalia Holanda Chávez García

La presente tesis fue desarrollada para la compañía GST Automotive Safety la cual manufactura bolsas de aire de seguridad para automóviles. Una sección fundamental en la manufactura de bolsas es la utilización de un tipo de plantillas de sujeción, por lo que el objetivo de esta investigación fue analizar 2 tipos de material con el que están construidas dichas plantillas: Aleación de aluminio 6061 y Fibra de vidrio G-10. Se utilizó el Software SolidWorks para realizar el análisis de tensiones y el análisis de fatiga, asimismo se realizó de forma alterna un análisis de costos. Los análisis fueron realizados para los 4 tipos de plantillas existentes: T-311, T-342, T342 A & T342 B utilizadas para la costura de las bolsas de aire. Los resultados mostraron una mejor resistencia a las tensiones y menor costo operativo en las plantillas fabricadas con aluminio 6061, pero un mayor tiempo de vida de las plantillas fabricadas con fibra de vidrio. Se concluyó, considerando los análisis de tensiones y costos, que el aluminio 6061 es el material idóneo para fabricar las plantillas, salvo algunos casos, en los que el ciclo de vida sea fundamental; será recomendable usar fibra de vidrio G-10.

**Palabras clave:** Análisis de esfuerzos, análisis de fatiga, plantillas de costura automotriz,

Abstract of the thesis presented by **Ahuizotl López López** as a partial requirement to obtain the Master of engineering and innovation

**ANALYSIS OF STRENGTH AND FATIGUE IN AUTOMOTIVE SEWING TEMPLATES  
IN RELATION TO THE TYPE OF MATERIAL USED**

Abstract approved by:

---

Dr. Dalia Holanda Chávez García

This thesis was developed for the company GST Automotive Safety which manufactures air bags for automotive safety. A fundamental section in the manufacture of bags is the use of a type of clamping plates, so the objective of this research was to analyze 2 types of material with which such templates are constructed: 6061 aluminum alloy and Fiberglass G -10. Solid Works Software was used to perform stress analysis and fatigue analysis, and an analysis of costs was performed alternately. The analyzes were performed for the 4 types of existing templates: T-311, T-342, T342 A & T342 B used for the sewing of air bags. The results showed better resistance to stress and lower operating costs in the templates made of 6061 aluminum, but a longer life of the templates made of glass fiber. It was concluded, considering the analysis of tensions and costs, that aluminum 6061 is the ideal material to manufacture the templates, except in some cases, in which the life cycle is fundamental; it will be advisable to use fiberglass G-10.

**Keywords:** Stress analysis, fatigue analysis, automotive tooling.

## **Dedicatoria**

A mis padres, Gregorio L. y María Sofia L. quienes han sido mi pilar desde pequeño, su motivación y apoyo a mi superación personal, así como su amor y cariño, a mis hermanos Román L., Gregorio L. y hermana Arely L. que también han estado en gran parte de mi formación, también a la compañía GST por permitirme la realización de este proyecto, así como todas las facilidades para la culminación de este.

Una especial dedicatoria a mis amigos dentro y fuera de GST los cuales sirvieron de apoyo y consejo cuando más me era necesario (Roció S., Lileni Z., Helen A., Jonathan S., Andrés M., Raúl M., Anaid M., Elsa V. Melissa F.) , gracias por estar ahí para mi cuando lo necesitaba y saben bien que como su amigo también estaré ahí para ustedes siempre.

## **Agradecimientos**

A CETYS, CONACYT Y GST por la financiación del proyecto, de no ser por dichas instituciones, no habría sido posible culminar.

CETYS por las facilidades de aulas, préstamo bibliográfico, así como de los diferentes programas informáticos que fueron de ayuda para la obtención de datos y generación de estudios para este proyecto y del resto de las materias. Es un honor haber sido alumno de dicha institución. Agradezco a los docentes Dra. Dalia Chávez y Dr. Alejandro Guzmán con quienes tomé más de una clase y fungieron como un gran apoyo en la redacción de esta tesis, gracias por sus observaciones, sugerencias y comentarios, gracias al resto de los docentes de CETYS de quienes fui su alumno ya que pude aprender una gran cantidad de habilidades con sus enseñanzas, considero son profesionales altamente preparados, me considero honrado y feliz de ser alumno de CETYS.

CONACYT por el apoyo financiero para el pago de la colegiatura, por permitirme ser beneficiario del apoyo, así como las facilidades para la obtención de este apoyo.

GST mi segunda casa por las facilidades otorgadas durante toda la maestría, en especial a mi tutora Ing. Olga Villamil por sus recomendaciones y comentarios a esta tesis, así como al resto de las Gerencias, este es un proyecto en beneficio de la compañía y puede servir como base a futuros proyectos de mejora.

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	vi
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	viii
<b>Lista de tablas</b> .....	xi
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	3
1.3 Planteamiento del Problema .....	3
1.3 Pregunta de investigación.....	4
1.4 Hipótesis .....	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 Objetivo general .....	4
1.6.2 Objetivos específicos.....	4
<b>Capítulo 2. Marco conceptual o teórico</b> .....	<b>5</b>
2.1 Global Safety Textiles Automotive Safety Components International .....	5
2.2 Bolsa de aire de Seguridad .....	5
2.3 Manufactura de bolsa de aire de seguridad .....	7
2.4. La máquina de costura y el proceso de costura .....	9
2.4.1 Paneles de costura.....	11
2.4.2 Plantillas de sujeción para equipos semiautomatizados .....	11
2.4.3 Mecanismos de alimentación en máquinas de costura .....	14
2.4.3.1 Alimentación en equipos manuales .....	14
2.4.3.2 Alimentación en equipos semiautomatizados .....	15
2.4.4 Métodos de carga de paneles y costura en máquinas automáticas .....	17
2.4.2 Materiales utilizados para la fabricación de las plantillas .....	19
2.4.2.1 Fibra de vidrio G10 .....	19
2.4.2.2 Aluminio 6061 .....	20
2.5 Esfuerzo .....	21
2.6 Fatiga .....	22
2.6.1 Esfuerzos cíclicos .....	23

2.7 SolidWorks .....	24
2.7.1 SolidWorks simulation .....	25
2.7.1.2 Análisis de esfuerzos / análisis estático.....	25
2.7.1.3 Análisis de fatiga .....	26
<b>Capítulo 3. Metodología.....</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo 4. Análisis y presentación de resultados .....</b>	<b>29</b>
4.1 Esfuerzos en plantillas de sujeción estándar T-311 & T-326.....	29
4.2 Esfuerzos en plantillas de sujeción Estándar T-342 .....	31
4.3 Esfuerzos en plantillas de sujeción tipo T-342 A.....	34
4.4 Esfuerzos en plantillas de sujeción T-342 B .....	36
4.5 Análisis de fatiga .....	38
4.5.1 Análisis de fatiga para el aluminio 6061 .....	39
4.5.2 Análisis de fatiga para la fibra de vidrio.....	41
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
Lista de referencias bibliográficas .....	46

## Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de funcionamiento de una bolsa de aire, a) Estado pasivo b) Estado inactivo. (Recuperado de <a href="https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/airbag1.htm">https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/airbag1.htm</a> 01 de marzo 2019).....	5
Figura 2. Ubicación de las bolsas de aire, modelo Peugeot 308. (Recuperado de <a href="http://peugeot.308.free.fr/FR/308/DESSINS_01.phpe">http://peugeot.308.free.fr/FR/308/DESSINS_01.phpe</a> , 21 de noviembre de 2018).....	7
Figura 3. Proceso de manufactura de una bolsa de aire de seguridad (Elaboración propia) .....	7
Figura 4. Proceso de costura de una bolsa de aire tipo SAB (Elaboración propia).....	9
Figura 5. Máquina de costura de cama plana marca JUKI modelo DDL-9000B (Recuperado de <a href="http://www.juki.co.jp/industrial_e/products_e/apparel_e/1needle_e/ddl9000b.html">http://www.juki.co.jp/industrial_e/products_e/apparel_e/1needle_e/ddl9000b.html</a> , 22 de mayo de 2018).....	10
Figura 6. Máquina de coser automática marca Brother BAS 311H (Recuperado de <a href="https://www.findsewingmachine.com/product/brother-bas-311h/">https://www.findsewingmachine.com/product/brother-bas-311h/</a> 22 de mayo 2018).....	11
Figura 7. Modelo de plantilla inferior de sujeción (Elaboración propia). .....	12
Figura 8. Modelo de plantilla superior de sujeción (Elaboración propia). .....	13
Figura 9. Plantilla superior e inferior (Elaboración propia). .....	13
Figura 10. Mecanismo de alimentación por goteo (Recuperado de <a href="https://www.thesprucecrafts.com/sewing-machine-feed-dogs-2821615">https://www.thesprucecrafts.com/sewing-machine-feed-dogs-2821615</a> , 22 de mayo 2018).....	14
Figura 11. Mecanismos de alimentación de aguja (Recuperado de <a href="https://clothingindustry.blogspot.com/2017/12/classification-sewing-machines.html">https://clothingindustry.blogspot.com/2017/12/classification-sewing-machines.html</a> , 22 de Mayo 2018).....	15
Figura 12. Plantillas de sujeción estándar T-311/T-326, la flecha en azul muestra uno de los opresores “L” (Elaboración propia). .....	15
Figura 13. Plantillas de sujeción estándar T-342, la flecha en azul muestra la ubicación del opresor (Elaboración propia). .....	16
Figura 14. Plantillas de sujeción estándar T-342 B, las flechas en azul muestran la ubicación de los opresores (Elaboración propia). .....	16
Figura 15. Plantillas de sujeción estándar T-342 B, las flechas en azul muestran la ubicación de los opresores (Elaboración propia). .....	17
Figura 16. Funcionamiento de plantillas inferior-superiores (Elaboración propia). .....	18
Figura 17 Ensamble terminado del sistema de platillas estándar T-342 .....	18

Figura 18 Curvas de esfuerzo con números de ciclo (SN) correspondientes a una falla por fatiga para una aleación de aluminio 2014-T6 y un acero contenido medio de carbono 1047 (Smith & Hashemi ,2006).....	23
Figura 19.curva SN correspondiente al aluminio 6061 .....	23
Figura 20.Graficas de esfuerzos de fatiga versus número de ciclos a) Ciclo de esfuerzos totalmente invertido. b) Ciclo de esfuerzos totalmente invertido b) Ciclo de esfuerzos repetidos con tensión máxima y tensión mínima c) Ciclo de esfuerzos con valores al azar (Smith & Hashemi ,2006).....	24
Figura 21.diseño en solid Works Recuperado de : <a href="https://www.talentumdigital.cl/cursos/solidworks-class/">https://www.talentumdigital.cl/cursos/solidworks-class/</a> 10 de marzo 2019 .....	25
Figura 22 Análisis estático en SolidWorks Simulation. Recuperado de <a href="https://grabcad.com/library/static-analysis-solidworks-simulation-material-carbon-steel-non-alloy-4-fixed-fasteners-normal-force-applied-1000-n-and-10000-n-1">https://grabcad.com/library/static-analysis-solidworks-simulation-material-carbon-steel-non-alloy-4-fixed-fasteners-normal-force-applied-1000-n-and-10000-n-1</a> 18 de marzo 2019.....	25
Figura 23.Analisis de fatiga utilizando SolidWorks simulation, recuperado de <a href="https://www.solidsolutions.co.uk/blog/2016/06/fatigue-simulation/#.XJAN8Ljp2Hs">https://www.solidsolutions.co.uk/blog/2016/06/fatigue-simulation/#.XJAN8Ljp2Hs</a> .....	26
Figura 24.Metodologuia usada en el proyecto. Elaboración propia .....	28
Figura 25.Plantilla de sujeción tipo T-311/T-326 es sujeta a una fuerza de 850.12. Elaboración propia .....	29
Figura 26. Modelización para plantillas T-311/T-326.....	29
Figura 27. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-311/T-326 .....	30
Figura 28Análisis de tensiones en plantilla T-311/T-326 para el aluminio 6061 .....	30
Figura 29 Análisis de tensiones en plantilla T-311/T-326 para la fibra de vidrio G10.....	31
Figura 30.Plantilla de sujeción tipo T-342 es sujeta a una fuerza de 5287.5 N Elaboración propia .	32
Figura 31.Modelización para plantillas T-342 .....	32
Figura 32.Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342 .....	32
Figura 33.Análisis de tensiones en plantilla T-342 para el aluminio 6061 .....	33
Figura 34.Análisis de tensiones en plantilla T-342 para la fibra de vidrio G-10 .....	33
Figura 35.Plantilla de sujeción tipo T-342 A es sujeta a una fuerza de 450 N Elaboración propia..	34
Figura 36.Modelización para plantillas T-342 A. Elaboración propia .....	34
Figura 37.Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342 A .....	35
Figura 38.Análisis de tensiones en plantilla T-342 para el aluminio 6061 .....	35
Figura 39.Análisis de tensiones en plantilla T-342 para la fibra de vidrio G-10 .....	36
Figura 40.Plantilla de sujeción tipo T-342 B es sujeta a una fuerza de 1440 N. Elaboración propia	36

Figura 41. Modelización para plantillas T-342 A. Elaboración propia .....	37
Figura 42. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342 A .....	37
Figura 43. Análisis de tensiones en plantilla T-342 B para el aluminio 6061 .....	37
Figura 44. Análisis de tensiones en plantilla T-342 B para la fibra de vidrio G-10 .....	38
Figura 45. Parámetros para el análisis de fatiga del aluminio 6061 .....	39
Figura 46. Datos para la curva SN del aluminio 6061 .....	40
Figura 47. Mensaje de resultado para el análisis de fatiga de Aluminio 6061 .....	40
Figura 48. Resultado para los ciclos de vida de Aluminio 6061 Plantilla T-342 B .....	41
Figura 49. Resultado para los ciclos de vida para la fibra de vidrio G-10 .....	41
Figura 50. Costos operativos de las plantillas para el tipo DAB .....	42
Figura 51. Costos operativos de las plantillas para el tipo SAB. Elaboración propia .....	43

## Lista de tablas

Tabla 1 Tipos de bolsas de aire y sus funciones.....	6
Tabla 2.Fases y herramientas/equipo del proceso de costura.....	8
Tabla 3.Materiales de fabricación de plantillas de sujeción.....	19
Tabla 4 Propiedades de la fibra de vidrio G-10.....	20
Tabla 5. Propiedades del aluminio 6061 .....	21
Tabla 6. Tabla de resultados de los análisis de tensiones, fatiga y costos.....	44

# Capítulo 1. Introducción

---

El presente proyecto fue desarrollado en la compañía GST Automotive Safety Components dedicada a la manufactura bolsas de aire de seguridad, las cuales corresponde a modelos como HONDA, CHRYSLER , FORD , TESLA entre otros para fabricar la bolsa de aire el principal proceso es la costura industrial la cual requiere de una amplia variedad de herramientas, fixturas y plantillas de sujeción estas últimas son sometidas a diferentes condiciones mecánicas como esfuerzos de compresión, fatiga, vibraciones, pandeo, movimiento etc. Este proyecto busca determinar si los materiales con los que las plantillas son fabricados son los idóneos en relación con las condiciones de esfuerzo y fatiga, además de calcular los costos asociados al diseño, fabricación y costo de los materiales, con ellos realizar propuestas de ahorros.

## 1.1 Antecedentes

Ha habido varias investigaciones sobre análisis experimental y simulación de plantillas o *fixtures* (en inglés), tal es el caso de Olayinka Olabanji, et al (2016) que en su artículo “*Design, simulation and experimental investigation of a novel reconfigurable assembly fixture for press brakes*” explican que a partir de un diseño de fixtura de montaje para prensa reconfigurable diseñado y sometido a esfuerzos y desplazamientos utilizando Solidworks así como otros factores demostró que podía soportar tensiones máximas menores que la resistencia del rendimiento del material utilizado para fabricación. La misma concluyo entre algunos aspectos que el análisis de esfuerzos no excederá la resistencia de los materiales de con que fueron fabricados, lo que implica que los componentes no fallaran durante la operación.

También hubo otros estudios por parte de Useche León Cristian D. & Guzmán Solaque Leonardo R. (2015) que analizaron el comportamiento de un sistema de soporte para asegurar el centro de soporte de un espacio cilíndrico y utilizando simulación en el software SolidWorks un análisis estático basado en análisis de elementos finitos para garantizar el funcionamiento del mecanismo y prevenir que los materiales con los que se fabricó fallen. Con este estudio se demostró que es importante el análisis de esfuerzos en sistemas mecánicos ya que así se evita la ruptura o grietas en la pieza que generar pérdidas en mantenimiento e inversión, también que el factor de seguridad se ve fuerte mente afectado por el aumento de fuerzas aplicadas y en gran medida se ve influenciado en la posición del mecanismo ya que las fuerzas se distribuyen de diferentes maneras.

Otros autores tuvieron como propósito analizar la tensión de fractura crítica en una capa de elastoplástico agrietado sometido a una carga de modo mixto, desarrollando un modelo que estima la magnitud de la tensión de fractura crítica basada en la zona plástica durante la propagación de grietas, posteriormente aplicaron el concepto para predecir el crecimiento de grietas debido a cargas de fatiga (Goyat, et al, 2017).

También el modo de falla de fatiga ha sido estudiado por Moon, et al (2010), con el objetivo de desarrollar especificaciones de prueba para componentes que sean aplicables para predecir la vida de fatiga en la etapa de diseño inicial del producto. De esta forma se determinó una metodología para determinar la vibración óptima y especificaciones de prueba de fatiga para componentes.

Otros investigadores a nivel nacional como Muñoz, et al (2017) desarrollaron el diseño y fabricación de un herramental para el acoplamiento de ultrasonido por inmersión V317-SM a un manipulador industrial NACHI MZ04 utilizando SolidWorks y el análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) con la finalidad de observar el comportamiento del material sujeto a diversas cargas, con dichos resultados obtuvieron la opción óptima de tipo de material, dimensionamiento y proceso de fabricación. La misma concluyó con la fabricación, puesta en marcha y función de dicho herramental.

## 1.2 Justificación

El proceso global de fabricación emplea un 40% de máquinas semiautomáticas, las cuales utilizan 2 plantillas de sujeción : plantilla superior y plantilla inferior , ambas actúan como opresores para capas de tela a coser en el proceso, cada plantilla es diseñada por un ingeniero de procesos conforme requerimientos específicos del modelo de bolsa, diseños de modelos similares, materiales de construcción de las plantillas y características de la maquina donde serán colocadas , posteriormente el área de mantenimiento fabrica dichas plantillas con los diseños elaborados, finalmente las plantillas son evaluadas en el proceso, de existir ajustes la plantillas son reprocesadas en el área de mantenimiento hasta su validación.

Aunque para fabricar estas plantillas fue utilizado el acero durante algunos años los materiales actuales son: Aleación de aluminio 6061 y Fibra de vidrio G10 ya que ambos presentan buena características de resistencia y facilidad de mecanizado, esta última es esencial para poder fabricar las plantillas internamente ,algo difícil de realizar con el acero, siendo esta la causa de su desuso, sin embargo no hay estudios de la compañía que comparen la respuesta a la condiciones mecánicas del proceso de costura en ambos materiales o estudiar la posibilidad de un material alternativo.

## 1.3 Planteamiento del Problema

Al tener un amplia cantidad de modelos de bolsas de aire la compañía utiliza una amplia variedad de plantillas en sus equipos de costura semiautomáticos, dichas plantillas trabajan en pares, y poseen diversas características de tamaño o formas, sin embargo el funcionamiento es el mismo, la plantilla inferior es colocada en la base móvil de costura de la máquina , la plantilla superior en un sistema de opresores de la máquina, luego las capas a coser son colocadas sobre la plantilla inferior, el operador acciona un pedal bajando los opresores y por consiguiente la plantilla superior prensándolo el material ,luego el operador acciona nuevamente el pedal para ejecutar el patrón de costura, ambas plantillas están sujetas a esfuerzos de compresión y de fatiga durante todo el turno laboral, aunando a los volúmenes de vida de los modelos con el tiempo es necesario reemplazar o reparar las plantillas por desgastes o roturas , los cuales pueden originar defectos de calidad en las costuras como ejemplo si las plantillas pierden sujeción de los paneles serán originados desfases por el movimiento , así de importante es el tipo de material de fabricación de las plantillas : Aluminio 6061 y Fibra de vidrio (G10) , sin embargo no han sido analizadas sus respuesta al esfuerzo de

los opresores y fatiga de los ciclos de trabajo , al desconocer dichas respuestas no podemos realizar propuestas que reduzcan los costos operativos relacionados a dichas plantillas.

### **1.3 Pregunta de investigación**

¿Qué material estandarizado considerando esfuerzos y fatiga para las plantillas de sujeción de costura ofrece un menor costo operativo?

### **1.4 Hipótesis**

H0: Una selección basada en el análisis de los esfuerzos y fatiga de los materiales no reduce los costos operativos asociados las plantillas de fijación de costura.

H1: Una selección basada en el análisis de los esfuerzos y fatiga de los materiales reduce los costos operativos asociados las plantillas de fijación de costura.

### **1.6 Objetivos**

#### **1.6.1 Objetivo general**

Analizar los tipos de material usados en la fabricación de plantillas, a manera de evaluar los esfuerzos y fatiga a las que están sujetos durante el proceso de costura y proponer mejoras que minimicen los costos operativos actuales y futuros.

#### **1.6.2 Objetivos específicos**

1. Justificar el uso de un tipo de material para fabricación de plantillas.
2. Realizar un análisis de esfuerzos para evaluar los materiales utilizados en la fabricación de plantillas, determinando el más adecuado al método de carga o costura
3. Calcular los costos totales operativos de los materiales usados actualmente en la fabricación de plantillas
4. Proponer materiales alternativos que ofrezcan resultados iguales o mejores, pero a la vez disminuyan los costos operativos asociados

## Capítulo 2. Marco conceptual o teórico

### 2.1 Global Safety Textiles Automotive Safety Components International

Global Safety Textiles Automotive Safety Components International es una empresa dedicada a la manufactura de bolsas de aire de seguridad para automóviles, cuenta con plantas en Polonia, China, Sudáfrica, Estados Unidos y México, el proceso global de la compañía incluye desde la fabricación de tejido para las telas hasta la manufactura final de la bolsa.

### 2.2 Bolsa de aire de Seguridad

Es un sistema de seguridad pasiva dado a conocer por Mercedes Benz en 1971 y el clase S fue el primero en utilizarlo en serie en el año de 1981 (Maldonado, 2019), la estructura es conformada por múltiples capas de tela cosidas entre si formando una bolsa. son infladas gracias a una reacción química por detonación. Es una mezcla de diferentes elementos químicos que producen gas nitrógeno para inflar la bolsa de aire en aproximadamente 20 o 30 milisegundos después de haber sido activada por los diferentes sensores que detectan el impacto y determinan si es necesario inflarla. Los sensores que determinan la necesidad de inflar una bolsa de aire son acelerómetros, sensores de impacto, giroscopios, entre otros. También hay sensores que determinan si hay ocupantes para activar las bolsas de aire; están ubicados en los asientos. No todos los autos lo tienen, pero ayuda a evitar que se active la bolsa de aire en caso de que no haya copiloto. (Maldonado, 2019), la figura 1 muestra el diagrama de funcionamiento de la bolsa de aire.

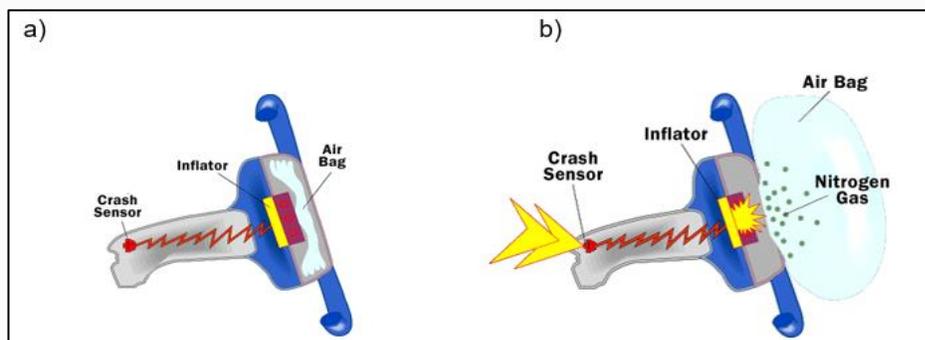


Figura 1 Diagrama de funcionamiento de una bolsa de aire, a) Estado pasivo b) Estado activo. (Recuperado de <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/airbag1.htm> 01 de marzo 2019)

Actualmente están presentes diferentes tipos de bolsas de aire en muchos coches, por asequibles que sean. Actualmente un coche de tamaño medio y precio asequible, de una marca generalista de las que más se venden (no hay que irse a marcas de lujo), viene a llevar entre seis y siete de serie, sino más. (Orozco, 2019), algunas de ellas son: lateral, solo tórax, tórax y cabeza, cortina, rodilla, posterior, central, de cinturón de seguridad, dentro de la compañía son manejados 5 tipos, estos son mostrados en la tabla 1

**Tabla 1 Tipos de bolsas de aire y sus funciones**

TIPO	FUNCIONES
Bolsa de aire lateral (SAB)	Colocado mayoritariamente en el lateral del propio asiento es desplegada en caso de impacto lateral entre la puerta y el cuerpo de la persona.
Bolsa de aire conductor (DAB)	Protege al conductor del impacto frontal con el volante o parabrisas, reduciendo significativamente el riesgo de lesiones corporales y craneales superiores.
Bolsa de aire rodilla (KAB)	Proteger las extremidades inferiores piernas y rodillas, del impacto con la parte baja del volante.
Bolsa de aire cortina (IC)	Protege la cabeza de los tripulantes contra golpes violentos al momento de un impacto lateral o una volcadura
Bolsa de aire pasajero (PAB)	Proteger al copiloto del impacto frontal con el tablero o parabrisas,

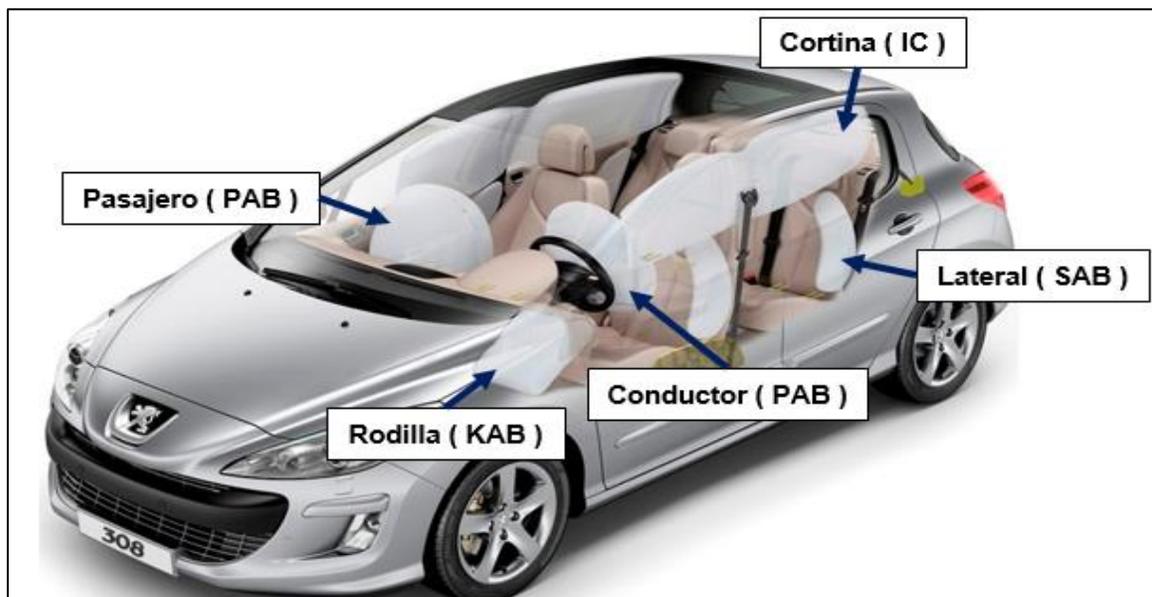


Figura 2. Ubicación de las bolsas de aire, modelo Peugeot 308. (Recuperado de [http://peugeot.308.free.fr/FR/308/DESSINS\\_01.php](http://peugeot.308.free.fr/FR/308/DESSINS_01.php), 21 de noviembre de 2018)

### 2.3 Manufactura de bolsa de aire de seguridad

Consiste en 6 fases generales y 2 fases de inspección, mostradas en la figura 3, de entre todas ensamble/costura es la más relevante debido a que los paneles individuales pasan a formar el conjunto de la bolsa.

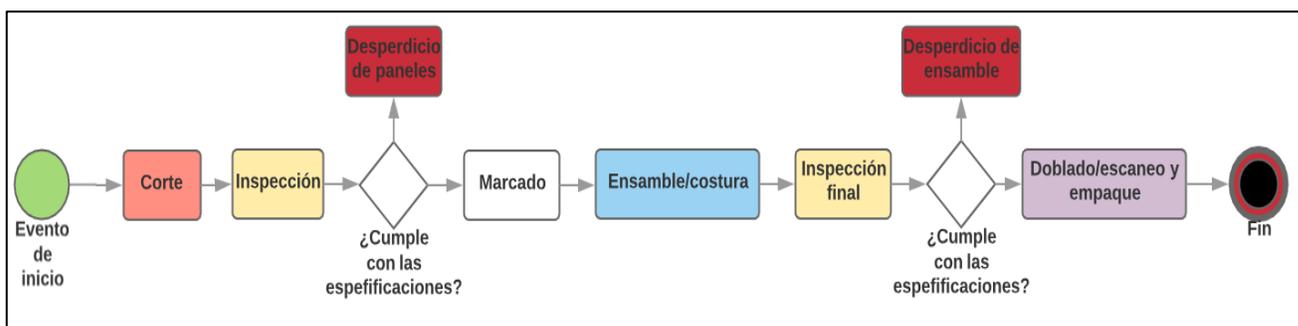


Figura 3. Proceso de manufactura de una bolsa de aire de seguridad (Elaboración propia)

La tabla 2 muestra la descripción para cada fase y las herramientas o equipo utilizado

Tabla 2. Fases y herramientas/equipo del proceso de costura

FASE	DESCRIPCION	HERRAMIENTAS O EQUIPO UTILIZADO
<b>Corte</b>	Rollo de diversos tipos de tela son procesados y cortados en máquinas de corte laser y navaja, para formar paneles cortados, dichos paneles son empacados y distribuidos a las células de manufactura	Montacargas, máquinas de tendido, máquinas de corte laser & máquinas de corte navaja.
<b>Inspección de paneles cortados</b>	Los paneles cortados son revisados y comparados con un dibujo/patrón estándar del panel en busca de defectos de tela, corte o contaminación, aquellos que no cumplen con los requerimientos son desechados.	Dibujo/ Patrón de paneles, mesa de inspección, reglas.
<b>Marcado</b>	Dependiendo, el modelo de bolsa es necesario marcar algunos paneles con una o varias fixturas, dichas marcas sirven como referencia o guía para posicionar otros paneles o costuras	Fixturas, plumones, lápices.
<b>Ensamble/Costura</b>	Los paneles cortados son ensamblados mediante costuras, rectas, circulares y perimetrales dichas costuras pueden ser realizadas mediante maquinas manuales o automatizadas, durante uno de dichos pasos de ensamble es colocada una etiqueta que sirve para la rastreabilidad de la bolsa una vez terminada	Fixturas de ensamble, guías en máquinas manuales, para maquinas automatizadas son requeridas plantillas de sujeción etiquetadoras y etiquetas de rastreabilidad
<b>Inspección final</b>	La bolsa terminada es inspeccionada en su totalidad, revisando cantidad de paneles, posiciones de ensamble, defectos de costura, o contaminación	Mesa de inspección equipada con luz de ayuda, Gages de validación, fixturas de ayuda, reglas, plantillas de verificación
<b>Doblado/Escaneo/ y Empaque</b>	La bolsa es doblada escaneada y empacada en un contenedor retornable o de cartón de acuerdo con las características aprobadas por el cliente, finalmente el contenedor o caja es etiquetado con los datos de producto y cantidad	Fixturas de doblado, escáner, equipo de cómputo, contenedor, bolsas de plástico y etiqueta de contenedor

El proceso de costura típico para una bolsa de la familia tipo lateral llamada HONDA SAB se muestra en la figura 4.

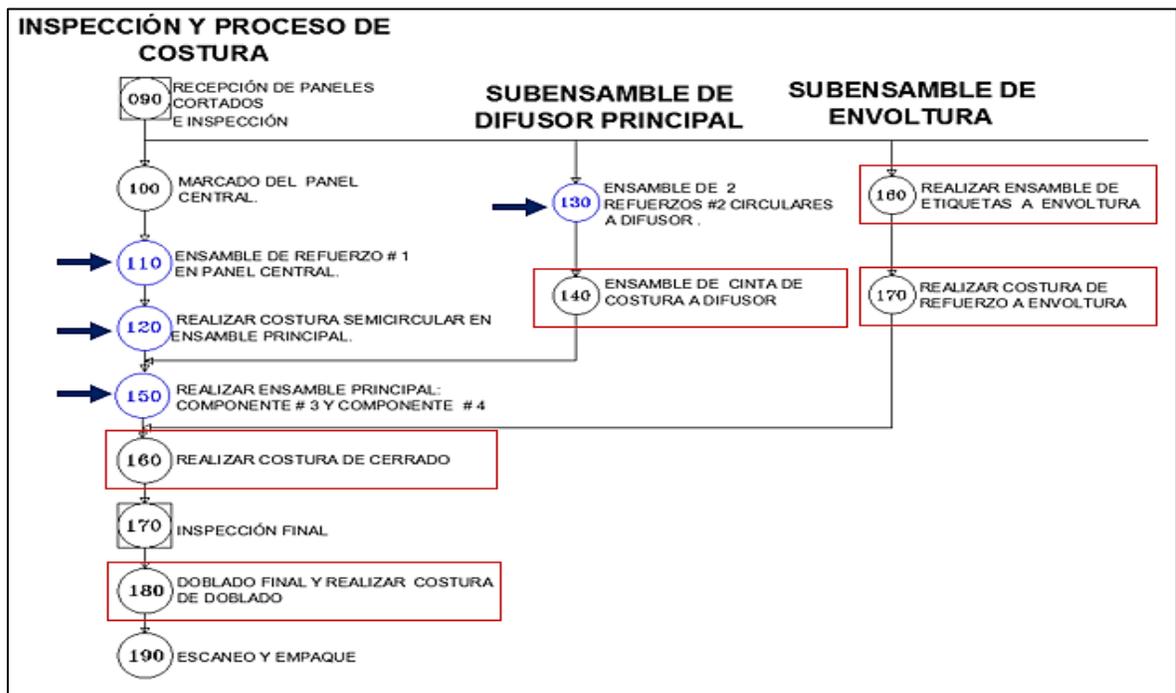


Figura 4. Proceso de costura de una bolsa de aire tipo SAB (Elaboración propia)

Los elementos marcados con un cuadro color rojo son procesos de costura manual, aquellos con una flecha color azul son costuras semiautomatizadas para este ejemplo dichas costuras representan el 44% del proceso.

### 2.4. La máquina de costura y el proceso de costura

Costura es definido como el arte y oficio de fijar objetos por medio de puntadas producidas por hilo y aguja, es considerada como el más vierto arte textil iniciada desde el paleolítico (Nayak & Padhye, 2015). Una máquina de coser es un dispositivo mecánico, electromecánico o neumático que sirve para unir tejidos usando hilos.

La máquina de coser fue inventada por el inglés Thomas Saint, quien la patentó en 1790, no obstante, la primera máquina de coser que realmente se utilizó fue patentada en 1846 por el norteamericano Elías Howe, y posteriormente en 1851 Isaac M. Singer patentó la suya. Estas primeras máquinas se basaban en una aguja con el ojo junto a la punta que podía pasar un bucle de hilo a través de la tela sin necesidad de introducir completamente la aguja. Dicha aguja subía y bajaba al girar una manivela y pasaba el bucle de hilo a través de la tela, siendo a su vez

atravesado dicho bucle con el bucle siguiente para sujetarlo y así sucesivamente. Posteriormente fue perfeccionándose y haciéndose cada vez más popular, en 1889 se introdujo el motor eléctrico, introduciéndose ampliamente tanto en las industrias del sector del vestido y del calzado como en los hogares particulares. (CEP, 2010).

Definiremos 2 tipos de equipos de costura: manuales y los semiautomatizados.

**Equipo de costura manual:** La máquina más utilizada en la industria es la ISU (Integrated sewing unit), o máquina de costura de candado, comúnmente conocida en la industria como máquina de cama plana (Jones & Stylios, 2013), este tipo de máquina requiere que un operario sea quien la maneje, alimentando a la máquina manualmente en un prensatelas, mientras la máquina realiza la costura el operario utiliza sus manos para empujar el material a coser, este tipo de proceso requiere que el operario genere una fuerte habilidad de manejo y sincronización con la máquina, la figura 5 muestra un tipo de máquina de la marca JUKI modelo DDL-9000B.



Figura 5. Máquina de costura de cama plana marca JUKI modelo DDL-9000B (Recuperado de [http://www.juki.co.jp/industrial\\_e/products\\_e/apparel\\_e/1needle\\_e/ddl9000b.html](http://www.juki.co.jp/industrial_e/products_e/apparel_e/1needle_e/ddl9000b.html), 22 de mayo de 2018)

**Equipo de costura semiautomatizado:** Desde los años 80, muchos avances tecnológicos han sido hechos a las máquinas de coser, las nuevas construcciones de materiales y sistemas electrónicos mejorados han jugado un importante rol en estos avances (Jones & Stylios, 2013). Uno de estos ha sido la posibilidad de generar patrones de costura dentro de un área delimitada utilizando software especializado, esta es una característica fundamental en los equipos semiautomáticos, una vez que el operador carga el material a coser, acciona un pedal que ejecuta el patrón de costura.

Todos los equipos semiautomáticos utilizan plantillas de sujeción, cuya función es mantener sujeta las capas de tela a coser mientras el patrón de costura es ejecutado, la figura 6 muestra un equipo semiautomatizado de la marca Brother modelo BAS 311H.



**Figura 6. Máquina de coser automática marca Brother BAS 311H (Recuperado de <https://www.findsewingmachine.com/product/brother-bas-311h/> 22 de mayo 2018)**

#### **2.4.1 Paneles de costura**

La bolsa de costura está compuesta por diferentes capas de tela cosidas entre sí, estas capas son llamadas paneles de costura y son producidas en máquinas de corte laser, salvo algunos que son cortados por máquinas de navaja, cada panel es tratado como un componente de la bolsa, con las siguientes características:

- 1) Numero de parte de identificación.
- 2) Forma y dimensiones específicas (Rectangular, circular, cuadrada, anillo, tira) o formas irregulares.
- 3) Compuesta por un tipo de tela (dependiendo de su ubicación en la bolsa).
- 4) Dentro de la bolsa puede haber diferentes cantidades de un mismo panel.
- 5) Existen paneles característicos para cada familia, hay semejanza entre paneles de modelos de una misma familia sin embargo son diferentes en dimensiones o variación entre las formas.
- 6) En general se clasifican en: Paneles principales, paneles de refuerzo, paneles de boca de montaje y paneles de ventilación.

#### **2.4.2 Plantillas de sujeción para equipos semiautomatizados**

Existen 2 tipos de plantillas de sujeción: Inferior y superior, ambas plantillas trabajan como un solo conjunto teniendo la función de mantener los paneles de costura en una sola posición mientras es ejecutado el patrón de costura por lo que disponen de características como guías,

pernos para posicionar el material, y ranuras o cortes internos por donde la aguja puede realizar los patrones de costura.

a) **Plantilla inferior:** Es la de mayor tamaño, independientemente del material de fabricación el espesor recomendado es de  $1/16$  de pulgada, su función es mantener en posición los paneles de tela a coser mediante el uso de pernos de sujeción y/o guías, los paneles son colocadas sobre esta plantilla de acuerdo al orden establecido, en la parte superior de dicha plantilla es colocado un refuerzo de aluminio de  $1/8$  de pulgada con 2 ranuras sobre las cuales estará sujeta mediante tornillos al sistema de movimiento de la máquina, a su vez deberá tener aberturas por donde pasara la aguja que realiza las costuras, estas podrán varias de tamaño de acuerdo al patrón requerido. La figura 7 muestra un diseño de plantilla inferior.

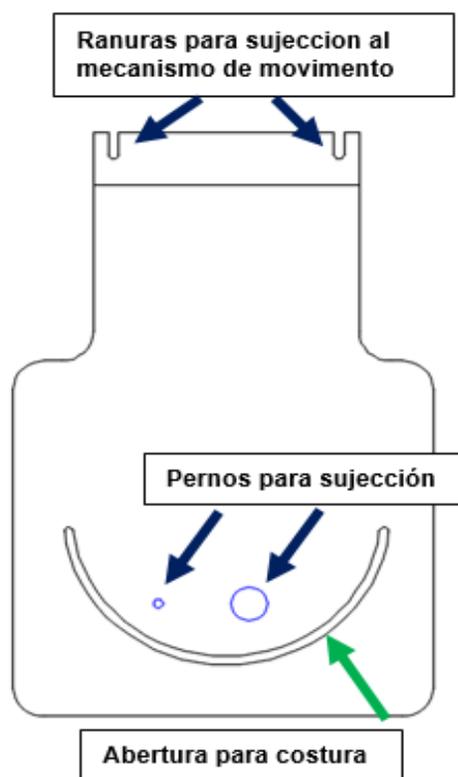
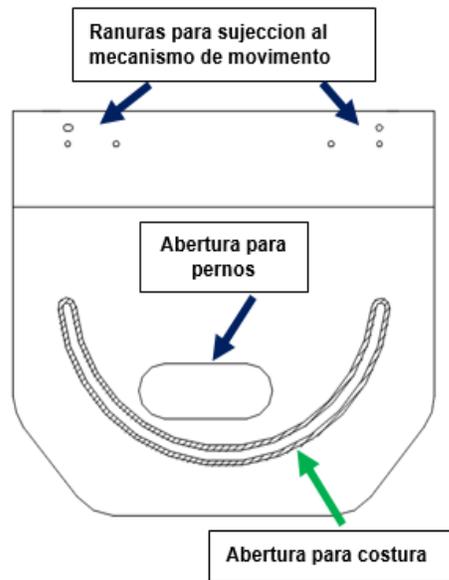


Figura 7. Modelo de plantilla inferior de sujeción (Elaboración propia).

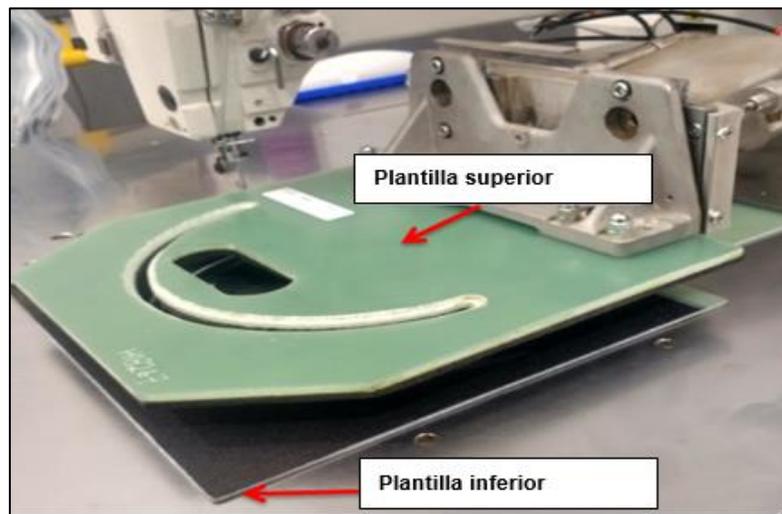
b) **Plantilla superior:** Es de un menor tamaño que la plantilla inferior y su espesor recomendado es de  $3/16$  de pulgada, está fijada justo por encima de la plantilla inferior a un sistema de brazos accionados neumáticamente en el mecanismo superior de la máquina, al

accionarse la plantilla superior ejerce una presión contra la plantilla inferior, atrapando a modo de emparedado los paneles de costura de la figura 8 muestra un diseño de plantilla superior.



**Figura 8. Modelo de plantilla superior de sujeción (Elaboración propia).**

El sistema de plantillas es mostrado en la figura 9



**Figura 9. Plantilla superior e inferior (Elaboración propia).**

A continuación, son resumidas las funciones del sistema de plantillas.

1. Mantener el material sujeto en una sola posición durante la ejecución del patrón de costura.
2. Mantener una alineación en las capas de material, estas tienen orificios en común que además de servir como guía en el ensamble también sirven para la inserción del

dispositivo de inflado y/o dispersión del aire, por lo que se añaden pernos de sujeción que aseguren la alineación.

3. Facilitar al operador la carga de las capas de tela en la secuencia y posición correcta para lo cual se utilizan guías, ayudas visuales, modificar la forma geométrica de ambas abrazaderas, aberturas adicionales, etc.

### 2.4.3 Mecanismos de alimentación en máquinas de costura

Para realizar la costura es necesario alimentar a la maquina con las capas de tela esto es realizado por un mecanismo de alimentacion o arrastre, comprende el movimiento de las agujas, bobinas, pestañas, partes del mecanismo de alimentación auxiliar y la tela a coser. La importancia de este mecanimos radica en que es la unica forma en la cual la aguja puede enganchar la siguiente porcion del material a coser.

#### 2.4.3.1 Alimentación en equipos manuales

**a) Alimentación por goteo:** Este mecanimo es propio de máquinas de coser domésticas y para la mayoría de las máquinas de coser industriales. También conocido como mecanismo de alimentación regular, el mecanismo implica el movimiento de tiras metálicas dentadas encontradas en las ranuras de la base (The Spruce Crafts, 2019), la figura 10 muestra el mecanismo por goteo.

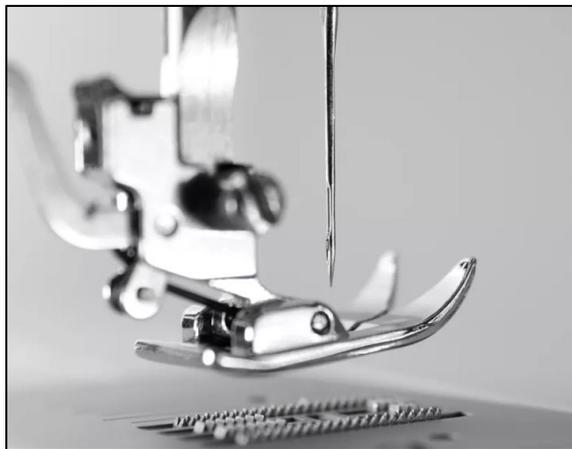


Figura 10. Mecanismo de alimentación por goteo (Recuperado de <https://www.thesprucecrafts.com/sewing-machine-feed-dogs-2821615>, 22 de mayo 2018).

**b) Alimentación de aguja:** Muchas máquinas de coser industriales, especialmente aquellas de agujas dobles, usan este sistema. Confían en la aguja misma para actuar como el elemento

primario de alimentación que mueve o avanza la tela a través de la zona de alimentación ("How Your Sewing Machine's Feed Dog Helps You Stitch Better", 2019) la figura 11 muestra el mecanismo por aguja.

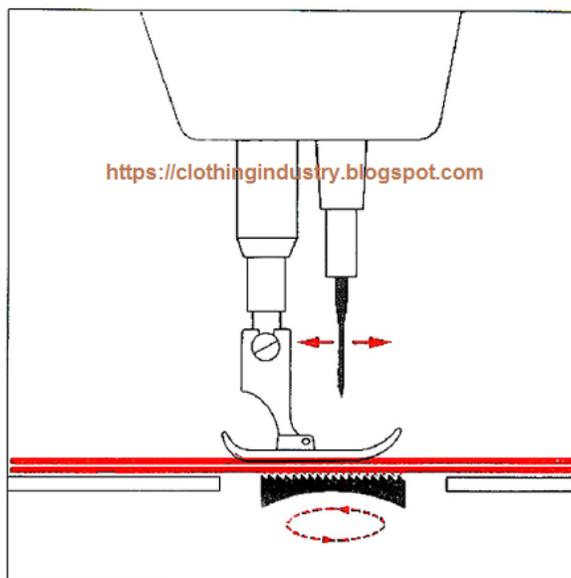


Figura 11. Mecanismos de alimentación de aguja (Recuperado de <https://clothingindustry.blogspot.com/2017/12/classification-sewing-machines.html>, 22 de Mayo 2018)

#### 2.4.3.2 Alimentación en equipos semiautomatizados

La alimentación varía de acuerdo a cada modelo de máquina y a la vez están relacionadas a los tipos de plantillas de sujeción a utilizar, dentro de GST son distinguidos los siguientes:

a) **Plantillas de sujeción estándar T-311/T-326:** Utilizadas en máquinas de costura automáticas de la serie BAS 311 y BAS 326, consisten en 2 opresores en forma de L, bajo los cuales es sujeta la plantilla superior mediante tornillos y rondanas, en el caso de la plantilla inferior esta es sujeta al dispositivo de desplazamiento de la máquina.

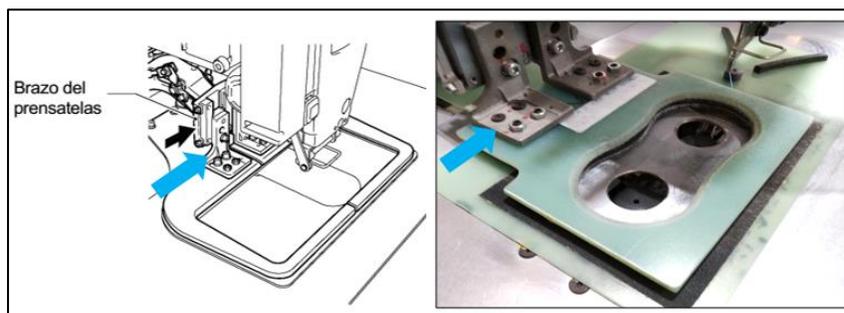
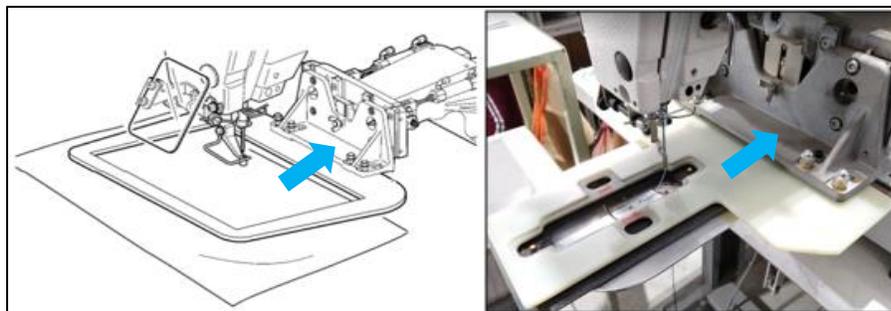


Figura 12. Plantillas de sujeción estándar T-311/T-326, la flecha en azul muestra uno de los opresores L (Elaboración propia).

**b) Plantillas de sujecion estandar T-342:** Utilizadas en máquinas de costura tipo 342, a diferencia de las maquinas tipo 311 & 326 constan de un solo sistema opresor mucho más largo, esto debido a la mayor área de costura con que puede trabajar el funcionamiento de los opresores y plantillas es similar a estos últimos.



**Figura 13.** Plantillas de sujeción estándar T-342, la flecha en azul muestra la ubicación del opresor (Elaboración propia).

**c) Plantillas de sujecion T-342 B:** Es una variante del sistema estándar T-342, la diferencia radica en la forma en la que esta acoplada la plantilla superior, aquí utiliza un sistema de pistones los cuales elevan la plantilla superior asemejándose a una bisagra, su principal ventaja es que permite que el operario tenga una mejor visión de los paneles a cargar en la máquina.



**Figura 14.** Plantillas de sujeción estándar T-342 B, las flechas en azul muestran la ubicación de los opresores (Elaboración propia).

**d) Plantilla de sujecion tipo pallet T-342 A :** A diferencia de los sistemas anteriores este mantiene unidos a ambas plantillas (superior e inferior), por medio de un par de bisagras que no están ensambladas al sistema de opresión de la máquina, el funcionamiento del sistema es el siguiente:

- 1) Operador realiza la carga de los paneles (con el pallet abierto), en una mesa independiente de la maquia, una vez cargados los paneles el operador cierra el pallet.

- 2) El pallet es colocado bajo una horquilla de opresión (la cual si esta ensamblada a la maquina), referenciándose con unos pequeños pernos/opresores colocados sobre el pallet.
- 3) Colocado el pallet, el operario acciona el pedal para hacer bajar la horquilla de opresión e iniciar la costura.

La ventaja de este sistema radica en la posibilidad de añadir un segundo pallet y cargar los paneles mientras el primer pallet trabaja en la máquina, por otro lado, la desventaja radica en tener que utilizar una mesa de carga para dichos pallets lo que significa espacio adicional y recurso para su construcción o mantenimiento.

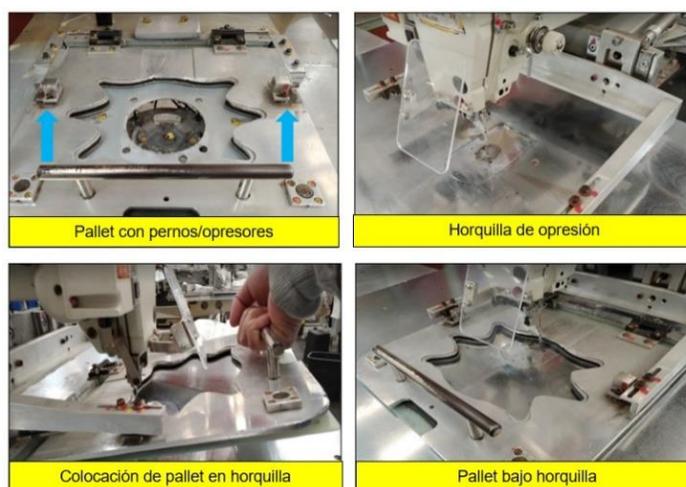


Figura 15. Plantillas de sujeción estándar T-342 B, las flechas en azul muestran la ubicación de los opresores (Elaboración propia).

#### 2.4.4 Métodos de carga de paneles y costura en máquinas automáticas

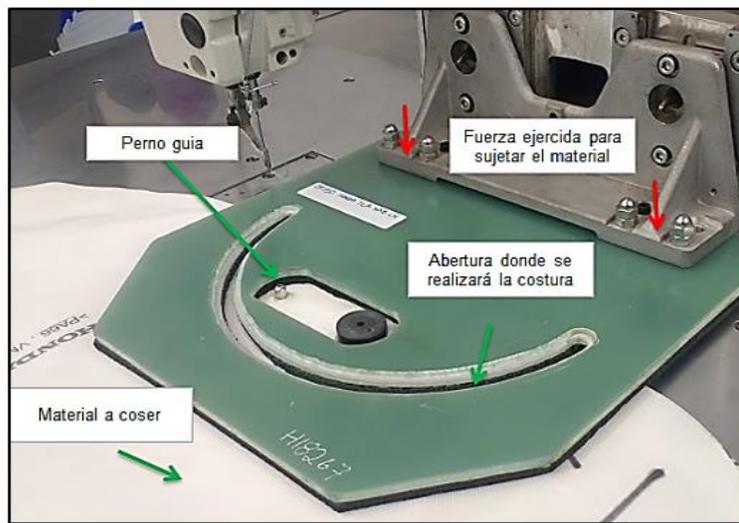
El método de carga se resume en los siguientes pasos

- a) **Carga de paneles:** El operario toma cada uno de los paneles de los contenedores correspondientes en caso de ser de las primeras operaciones, en caso de ser en operaciones dentro del proceso, adicional a los paneles tomara un subensamble de una operación posterior, para el sistema de pallet T-342 B la carga de paneles es realizada en una mesa aparte de la maquina llamada mesa de carga.
- b) **Acomodo de paneles y accionamiento de plantillas :** El operario acomoda cada panel o subensamble en la orientación y posición correcta de acuerdo con el método establecido, las plantillas inferiores tienen guías y pernos que sirven como apoyo para este propósito, una vez todo acomodado el operario acciona el sistema neumático de la maquina haciendo que la

plantilla superior baje, para el sistema de pallet T-342 B el operario acomoda los paneles en la mesa de carga que cuenta con su propio sistema neumático y luego cierra el pallet , posteriormente lo coloca en la horquilla de opresión de la máquina.

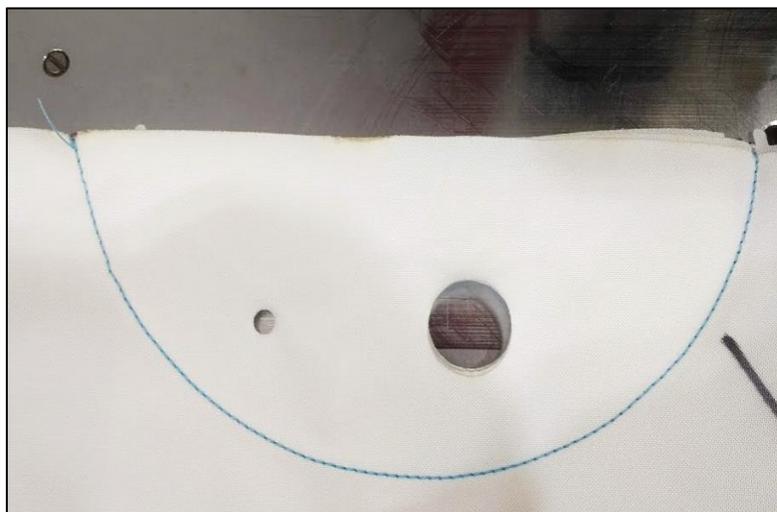
**c) Accionamiento de maquina:** Terminada la carga y acomodo el operario acciona la máquina para iniciar la costura

La figura 16 muestra un sistema de plantillas estándar T-342 con los paneles a coser.



**Figura 16. Funcionamiento de plantillas inferior-superiores (Elaboración propia).**

Una vez ejecutado el programa de costura la pieza es inspeccionada en busca de defectos de costura o defectos de ensamble como desfases, posicionamiento incorrecto, la figura 17 muestra un ensamble terminado.



**Figura 17 Ensamble terminado del sistema de platillas estándar T-342**

## 2.4.2 Materiales utilizados para la fabricación de las plantillas

La tabla 3 muestra los principales materiales con los que fabrican las plantillas dentro de GST

**Tabla 3. Materiales de fabricación de plantillas de sujeción.**

MATERIAL	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS	IMAGEN
<b>Fibra de vidrio tipo G10</b>	Laminado fabricado a base de fibra de vidrio en forma de tejidos con resina epoxy, consolidados bajo la acción de calor y presión para formar placas y barras sólidas de elevada resistencia mecánica	Elevada resistencia mecánica  Gran poder de amortiguamiento y absorción de las vibraciones  Bajo coeficiente de rozamiento y escaso desgaste por roce	
<b>Aluminio 6061</b>	Es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio.	Tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras. Fácil de maquinar y resistente a la corrosión Es una de las aleaciones de aluminio más comunes para uso general.	

### 2.4.2.1 Fibra de vidrio G10

G-10 es la designación para un laminado de resina epoxi a base de vidrio. Lo que esto significa es que usted toma un paño a base de vidrio (fibra de vidrio, en otras palabras), lo empapa en una resina epoxi y luego, utilizando calor y presión, lo comprime en la forma que desee. Este proceso es el mismo para los mangos de micarta y fibra de carbono, pero la diferencia es que el G-10 usa fibras de vidrio mientras que los otros dos no. Un material fabricado mediante la inserción de fibra de vidrio tejida impregnada con aglomerante de resina epoxi a través de un laminado, el G-10 se usa ampliamente en la electrónica y en las placas de circuitos impresos porque no es eléctricamente conductor. No encoge y mantiene las formas muy bien asegurando la estabilidad dimensional. (Use of G10 Material for Knife Handles - Handles et al., 2019)

**Estructura:** Por su composición de vidrio y resina epoxy, retardante a la llama, el estratificado presenta una Excelente resistencia térmica y química así como también excelentes propiedades mecánicas operando a Temperaturas hasta la clase térmica 180°C.

**Aplicaciones :** El estratificado de tejido de vidrio epoxy puede ser utilizado como material de aislamiento eléctrico y térmico en diversos tipos de máquinas y equipos, especialmente en



moldes prototipos ó para inyección, soplado e inyección y en general para portamoldes y porta troqueles, entre otros usos. Entre otras ventajas se encuentran su excelente conductividad, baja densidad, nula toxicidad y que no produce chispa y excelente resistencia a la corrosión.

**Tabla 5. Propiedades del aluminio 6061**

NORMA E.N.		AW6061
Norma U.N.E.		-
Densidad	g/cm3	2,70
Estado del tratamiento		T-5
PROPIEDADES GENERALES		
Carga de rotura	N/mm2	220
Límite elástico	N/mm2	185
Módulo elástico	N/mm2	69500
Alargamiento a 5,65%		13
Dureza	Brinell	75
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de fusión	°C	610-655
Conductividad térmica	W/(K*m)	209
Coeffic. dilatación terminal lineal	m/(m*K)	23,4
Conductividad eléctrica	%IACS	54

## 2.5 Esfuerzo

Todos los objetos que rodean y con los que interactúan las personas día a día en todo el mundo se hallan bajo diferentes tipos de cargas; es decir están sometidos a diversas condiciones de esfuerzo. (Díaz de León Santiago, González Ajuech, Rosete Fonseca , & Díaz de León Mendoza , 2018)

La forma mas simple para definir el esfuerzo es bajo el concepto de esfuerzo normal, definido por la letra griega sigma  $\sigma$ . Este esfuerzo se expresa como la relación entre la carga aplicada y la sección transversal resistente, de acuerdo con Díaz de León (2018) viene dada por la ecuación 1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal

$P$ : Carga aplicada al cuerpo expresada en N o lb (SI).

$A$ : Área de la sección trasversal expresada en  $m^2$  o  $in^2$  para el sistema ingles

Así las unidades que definen el esfuerzo son  $\text{N/m}^2$  (Pascal) o  $\text{lb/in}^2$  (psi), en el Sistema Internacional de Unidades (SI) se tiene como unidad de esfuerzo el pascal, no obstante, 1Pa constituye una magnitud de esfuerzo sumamente baja, por lo que con regularidad se trabaja con MPa.  $1 \text{ MPa} = 1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ . El valor de la carga P viene dado por la ecuación 2, la cual es obtenida al despejar el valor P de la ecuación 1.

$$P = \sigma \times A \quad \text{Ecuación (2)}$$

## 2.6 Fatiga

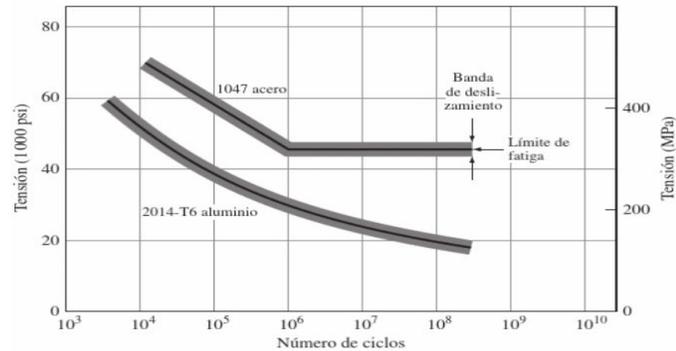
En muchos tipos de aplicaciones las piezas metálicas sometidas a esfuerzos cíclicos o repetitivos se rompen por la fatiga que sufren debido a un esfuerzo mucho menor de lo que la pieza puede soportar durante la aplicación de un esfuerzo estático sencillo. Estas fallas se denominan fatiga, las piezas móviles como los ejes de transmisión de movimiento, bielas y engranes son ejemplos de piezas en las es común la falla por fatiga. Algunas estimaciones de las fallas de las maquinas se atribuyen en un 80 por ciento a la acción directa a las fallas por fatiga (Smith &Hashemi ,2006)

Se usan numerosos tipos de ensayo para determinar los ciclos de resistencia del material. La prueba más comúnmente utilizada a menor escala es la prueba de fatiga por flexión alternante rotativa, en el cual una probeta se somete a esfuerzos alternos de tensión y compresión de la misma magnitud durante la rotación.

Los datos obtenidos se representan gráficamente en forma de curvas SN, en las cuales se representa al esfuerzo S que causa una falla en comparación con el número de ciclos N a los que se produce la falla.

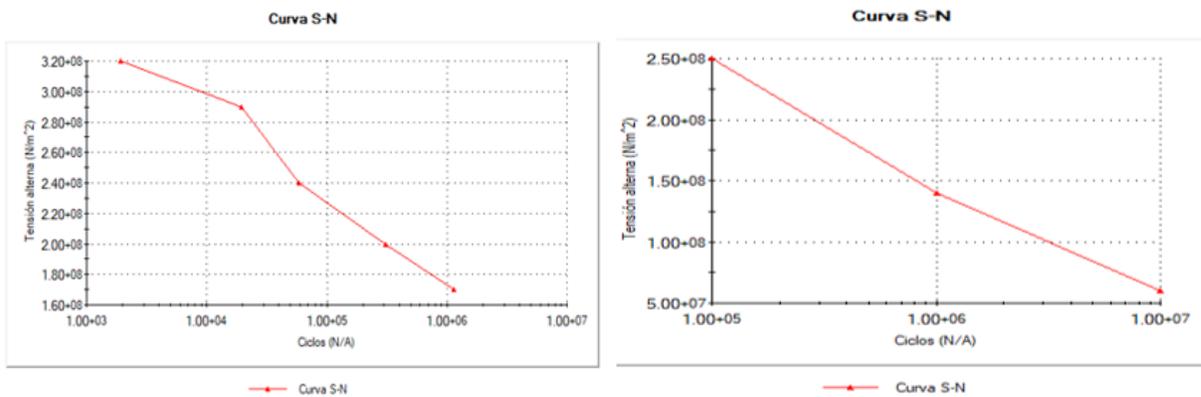
La figura 18 muestra las curvas típicas SN para una aleación al alto carbono y una aleación de aluminio de alta resistencia. Para el aluminio, el esfuerzo que causa la fractura disminuye a medida que aumenta el número de ciclos. En el acero al carbono primeramente hay una disminución en la resistencia a la fatiga a medida que aumenta el número de ciclos y luego la curva SN se nivela, sin que disminuya la resistencia a la fatiga a medida que aumenta el número de ciclos, a esta parte horizontal del grafico SN se denomina *límite de fatiga* o

resistencia a la fatiga y se encuentra entre  $10^6$  y  $10^{10}$  ciclos. Muchas aleaciones ferrosas presentan un límite de fatiga de aproximadamente la mitad de su resistencia de tensión las aleaciones no ferrosas como las aleaciones de aluminio no presentan límite de fatiga.



**Figura 18** Curvas de esfuerzo con números de ciclo (SN) correspondientes a una falla por fatiga para una aleación de aluminio 2014-T6 y un acero contenido medio de carbono 1047 (Smith & Hashemi ,2006)

La figura 19 muestra la curva SN correspondiente al aluminio 6061

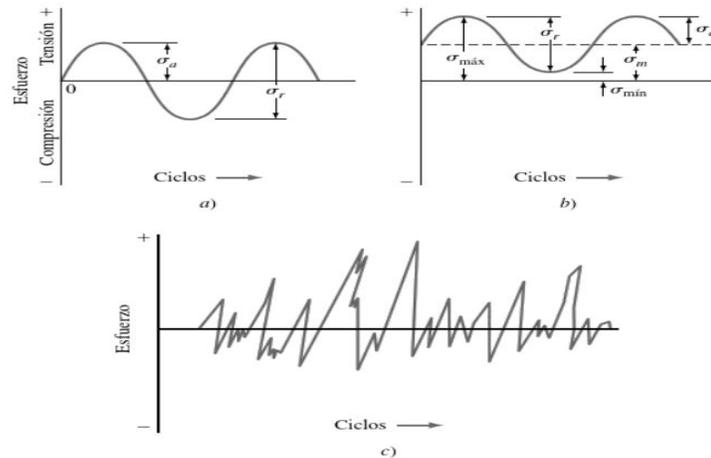


**Figura 19.** curva SN correspondiente al aluminio 6061

### 2.6.1 Esfuerzos cíclicos

Los esfuerzos de fatiga aplicados en los casos reales y en las pruebas de fatiga pueden variar mucho, en la figura 20a se muestra una gráfica en forma de senoidal presentando al esfuerzo versus los ciclos de fatiga para un ciclo inversos de esfuerzos, ésta grafica es típica de las que se producen cuando una flecha gira a velocidad constante sin sobrecargas, estos ciclos de esfuerzos son máximos y mínimos son iguales. Por definición los esfuerzos de tensión se consideran positivos y los de compresión negativos, en la figura 20b muestra un ciclo de esfuerzo repetido en el cual los esfuerzos máximos y mínimos son de tensión, sin embargo, un ciclo de tensión repetido también puede tener esfuerzos máximos y mínimos de signo contrario

o ser ambos de compresión, finalmente un esfuerzo cíclico puede variar aleatoriamente en amplitud y frecuencia como se muestra en la figura 20c.



**Figura 20. Graficas de esfuerzos de fatiga versus número de ciclos a) Ciclo de esfuerzos totalmente invertido. b) Ciclo de esfuerzos totalmente invertido b) Ciclo de esfuerzos repetidos con tensión máxima y tensión mínima c) Ciclo de esfuerzos con valores al azar (Smith & Hashemi ,2006)**

## 2.7 SolidWorks

*SolidWorks* es un programa de diseño mecánico en 3D con el que puedes crear geometría en tres dimensiones (3D) usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller. *SolidWorks* diseña de forma que va dejando un historial de operaciones para que puedas hacer referencia a ellas en cualquier momento (*SolidWorks* programa de diseño mecánico 3D, 2019).

*SolidWorks* tiene soluciones para industrias de plásticos, lámina delgada, eléctrica, simulación y análisis por elementos finitos, el programa incluye un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable. Como herramienta de diseño 3D es fácil de usar, acompaña al ingeniero mecánico y el diseñador industrial en su desempeño diario. Al diseñar puedes evaluar el impacto ambiental del diseño, simular virtualmente las condiciones y análisis del diseño en situaciones reales y optimizar su desempeño. El programa está basado en un motor de modelado de sólidos y también contiene comandos de creación, edición de superficies complejas, además es asociativo entre los modelos 3D y sus dibujos.



### 2.7.1.3 Análisis de fatiga

Se observa que la carga y la descarga repetidas debilitan los objetos a lo largo del tiempo, incluso cuando las tensiones inducidas son considerablemente inferiores a los límites de tensión permitidos. Este fenómeno es conocido como fatiga. Cada ciclo de fluctuación de tensión debilita al objeto hasta cierto punto. Después de una cantidad de ciclos, el objeto está tan débil que falla. La fatiga es la causa fundamental de error en muchos objetos, especialmente en aquéllos hechos de metal. Algunos ejemplos de error por fatiga incluyen maquinarias giratorias, pernos, alas de aviones, productos de consumo, plataformas flotantes, buques, ejes de vehículos, puentes y huesos.

Los estudios estructurales lineales y no lineales no predicen fallos originados por la fatiga, sino que calculan la respuesta de un diseño sujeto a un entorno específico de restricciones y cargas. Si se consideran las suposiciones de análisis y se determina que las tensiones calculadas están dentro de los límites permitidos, los estudios concluyen que el diseño es seguro en este entorno independientemente de cuántas veces se aplique la carga. ( Ayuda de SolidWorks - Análisis de fatiga, 2019)

Los resultados de los estudios dinámicos lineales de historia-tiempo, estáticos o no lineales se pueden utilizar como base para definir un estudio de fatiga. El número de ciclos requeridos para la falla de fatiga que ocurrirán en una ubicación depende del material y de las fluctuaciones de tensión. Esta información, para un material en particular, la proporciona una curva denominada curva SN.

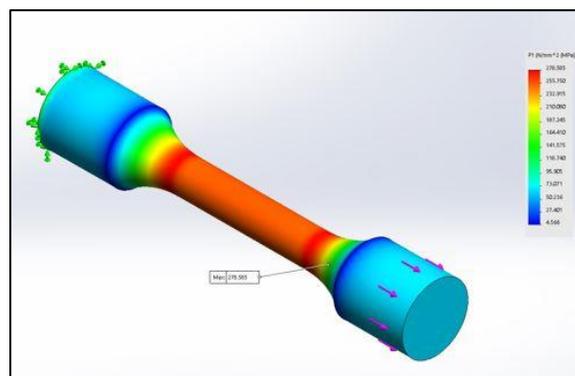


Figura 23. Analisis de fatiga utilizando SolidWorks simulation, recuperado de <https://www.solidsolutions.co.uk/blog/2016/06/fatigue-simulation/#.XJAN8Ljp2Hs>

## Capítulo 3. Metodología

---

La metodología consistió en analizar en una primera fase documental, basado en una población de 450 plantillas en piso de producción luego determinar un tamaño de muestra representativo, calculado con la ecuación 4 Murray y Larry (2005):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{i^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Ecuación (3)

Donde:

n: tamaño muestral

N: Tamaño de la población

Z: Valor correspondiente de la distribución de Gauss

p: prevalencia esperada del paramero a evaluar, en caso de desconocerse (p=0.5) que hace mayor el tamaño muestral

q: 1-p (ejemplo si p=70%, q=30%)

i: error que se prevé cometer si es del 10% i:0.1

Continuando con la recolección de datos en 4 aspectos

- a) Datos de materiales de fabricación: Propiedades y características (Obtenidos de los softwares SolidWorks & CES Edupack )
- b) Registros de diseños de plantillas
- c) Registros de tiempos de fabricación
- d) Costos del personal para el diseño/fabricación (Ingeniero & Técnico)
- e) Análisis de los sistemas de carga (Fuerzas y áreas)

Una segunda fase fue realizada mediante la exportación de los diseños desde los softwares de AUTOCAD a SOLIDWORKS una vez preparados los archivos fueron efectuados los análisis de tensiones y de fatiga mediante el complemento SolidWorks Simularían ingresando los parámetros de simulación estática (Fuerzas, puntos de apoyos , áreas) y de fatiga ( Ciclos de operación ) para cada una de las 4 variantes sistema de carga ya que entre ellas existe variación

, paralelamente fueron calculados los costos operativos de las plantillas mediante la siguiente ecuación 4:

$$\text{COP} = \text{CMP} + \text{CTD} + \text{CTF} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

**COP** = Costo operativos de plantillas

**CMP** = Costos de materia prima

**CTD** = Costos de tiempos de diseño

**CTF** = Costos de tiempos de fabricación

Con los resultados de los análisis de tensiones, análisis de fatiga y cálculo de costos operativos determinare el material que impacte positivamente al proceso: Menor costo operativo, mejor resistencia a los esfuerzos y fatiga, emitiendo una recomendación final.

La figura 23 muestra la metodología utilizada.

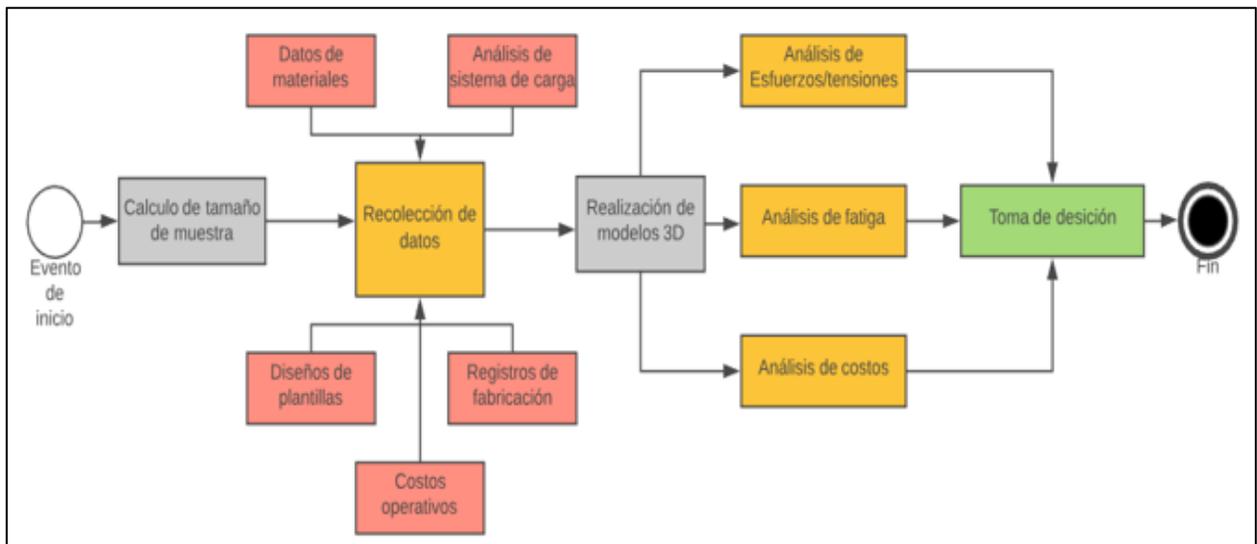


Figura 24. Metodología usada en el proyecto. Elaboración propia

## Capítulo 4. Análisis y presentación de resultados

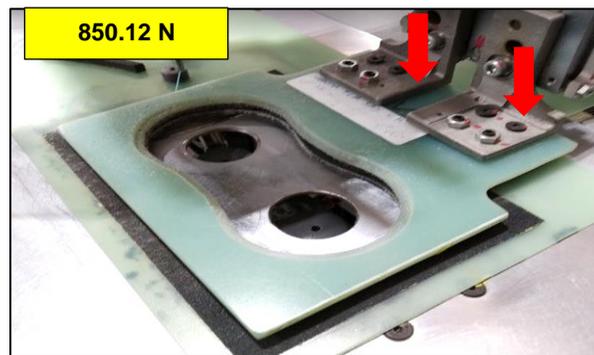
### 4.1 Esfuerzos en plantillas de sujeción estándar T-311 & T-326

El sistema de opresor tipo L accionado por un presor neumático con 0.5 MPa (500,000 Pa) de presión de aire, en un área de 0.00170024 m<sup>2</sup> al realizar el cálculo de la fuerza de compresión en la plantilla superior, al usar la ecuación 2, obtenemos la Fuerza en Newton aplicada a las áreas

$$P = (500,000 \text{ Pa} \times 0.00170024 \text{ m}^2)$$

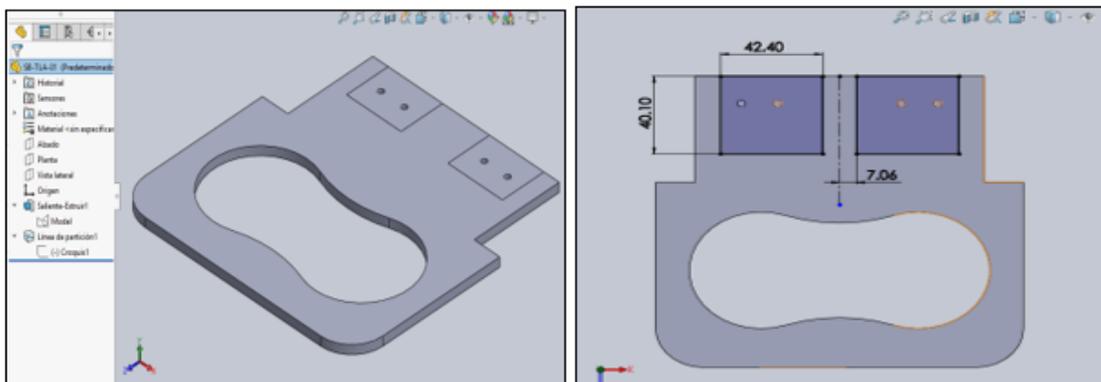
$$P = 850.12 \text{ N}$$

La figura 24 muestra donde es ubicada la fuerza calculada



**Figura 25.** Plantilla de sujeción tipo T-311/T-326 es sujeta a una fuerza de 850.12. Elaboración propia

Por tanto todas las plantillas que utilicen el sistema opresor tipo L estarán sometidas a la misma cantidad de fuerza, la figura 25 muestra el diseño y las áreas donde actúa el opresor.



**Figura 26.** Modelización para plantillas T-311/T-326

Realizado el modelo 3D, son establecidos los parámetros para iniciar los análisis, la figura 26 muestra las sujeciones y la fuerza de 850.12 N.

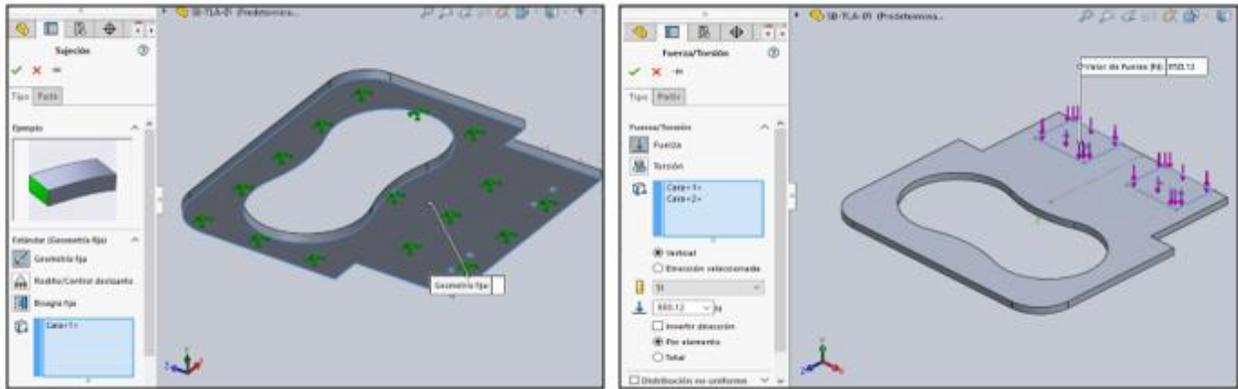


Figura 27. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-311/T-326

Luego es realizado el análisis estático en primer lugar el material Aluminio 6061 los datos son obtenidos de la biblioteca de SolidWorks. La figura 27 muestra los resultados para el análisis con Aluminio 6061.

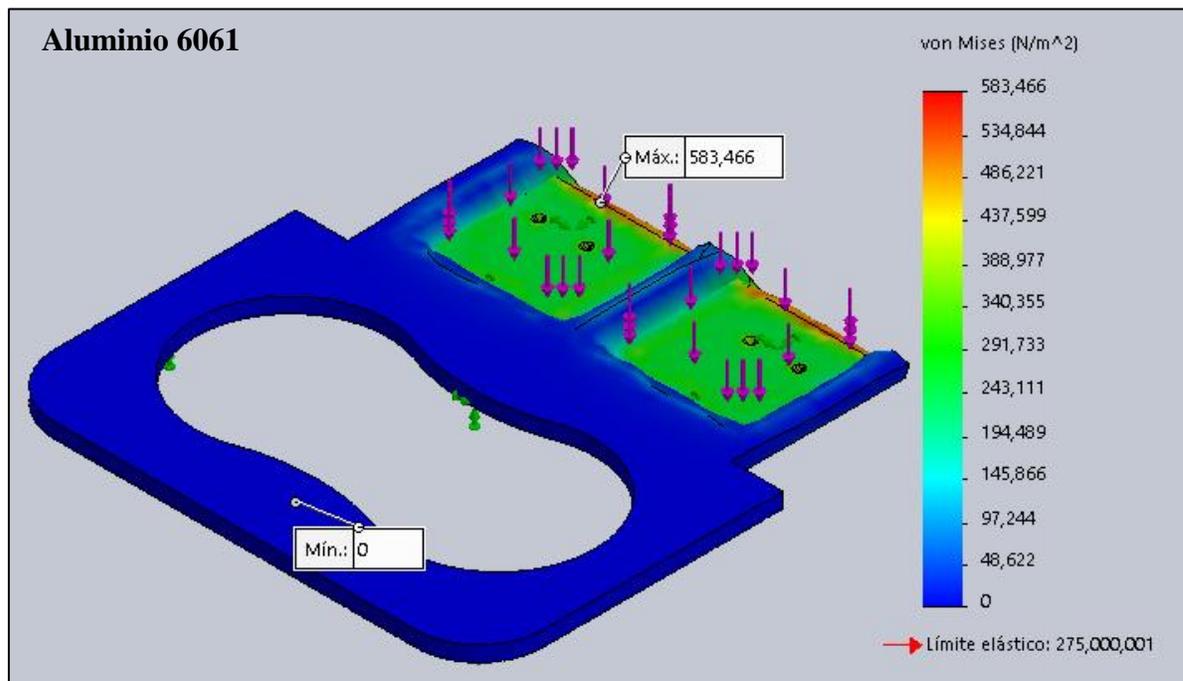
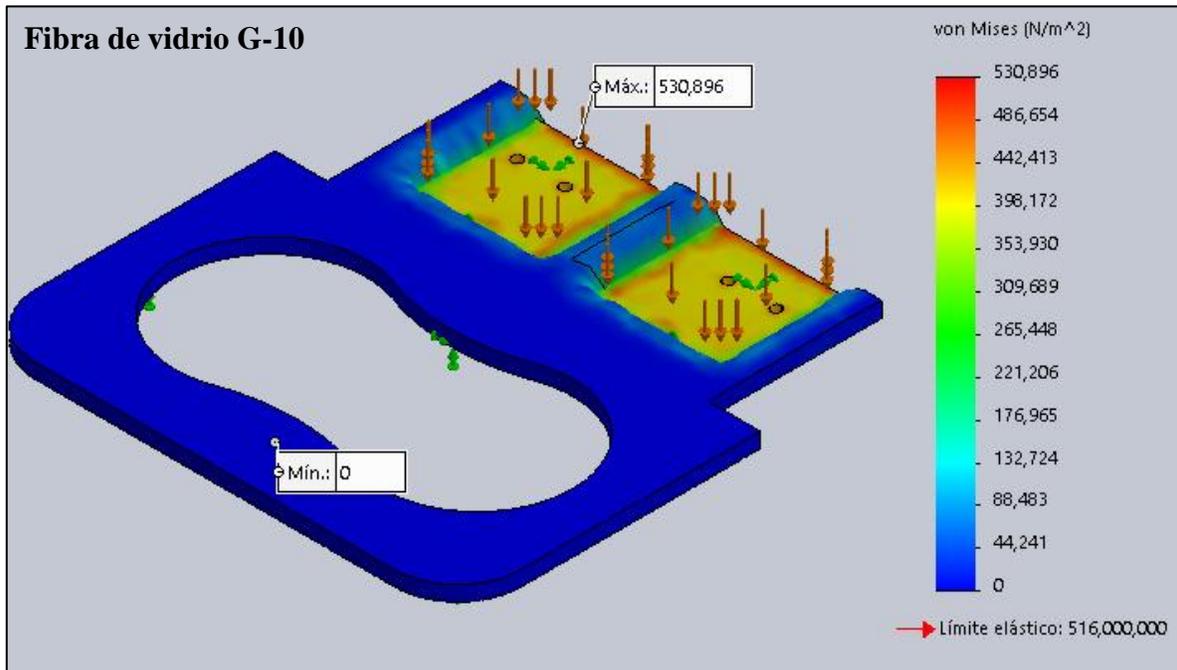


Figura 28. Análisis de tensiones en plantilla T-311/T-326 para el aluminio 6061

La máxima tensión registrada es de 583,466 Pa aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 243,111 Pa a 388,355 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 275, 000,000 Pa

El análisis para el material de fibra de vidrio G10 es más sencillo ya que al compartir los mismos parámetros a los del aluminio 6061, este último análisis es copiado y posteriormente el material es cambiado, los datos de la fibra de vidrio G10 no existen en la biblioteca de SolidWorks por tanto fueron obtenidos de CES EduPack y posteriormente ingresados como material personalizado en la biblioteca.

La figura 29 muestra los resultados del análisis con fibra de vidrio G-10



**Figura 29. Análisis de tensiones en plantilla T-311/T-326 para la fibra de vidrio G10**

El esfuerzo de tensión registrado es de 530,466 Pa el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 353,930 Pa a 486,654 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 516, 000,000 Pa

#### **4.2 Esfuerzos en plantillas de sujeción Estándar T-342**

Utiliza un sistema de opresor rectangular accionado por un sistema neumático con 0.5 MPa (500,000 Pa) de presión de aire. El área donde actúa la fuerza 0.010575 m<sup>2</sup>, la fuerza en N es obtenida mediante, al realizar el cálculo de la fuerza de compresión en la plantilla superior obtenemos a partir de la ecuación 2:

$$P = (500,000 \text{ PA} \times 0.010575 \text{ m}^2)$$

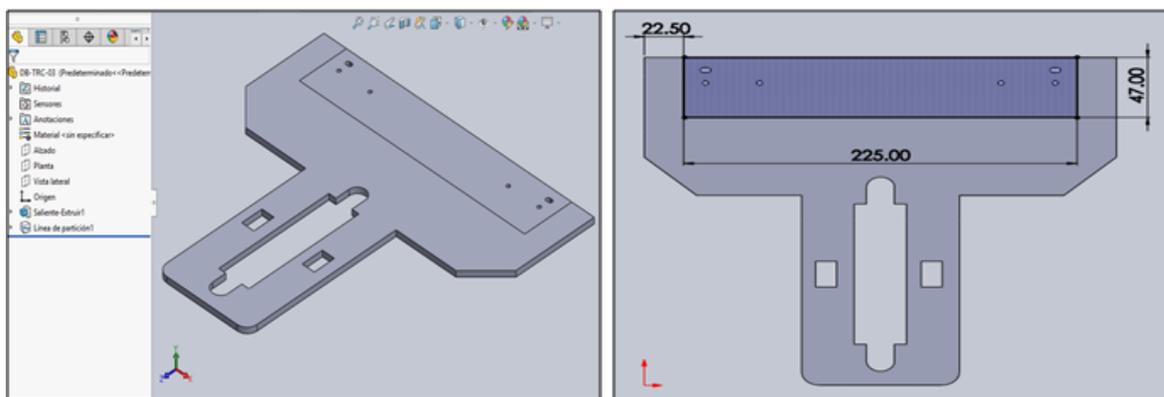
$$P = 5287.5 \text{ N}$$

La figura 30 muestra donde es ubicada la fuerza calculada



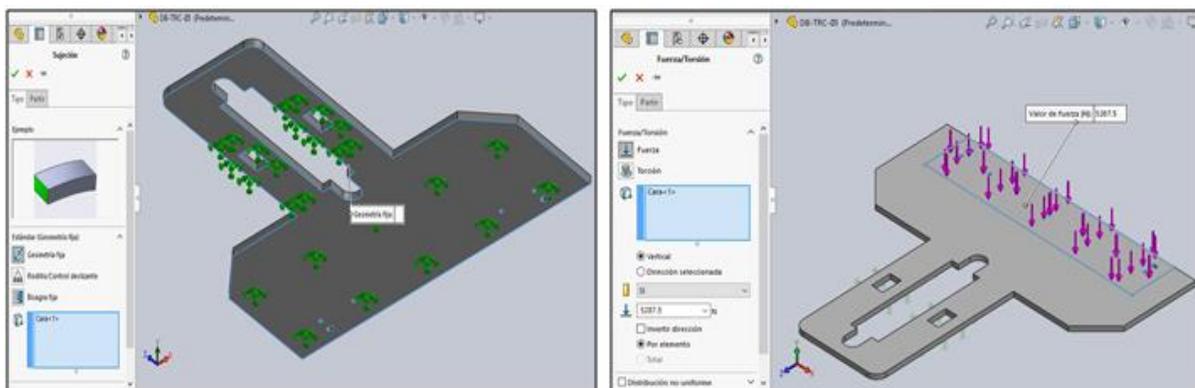
**Figura 30. Plantilla de sujeción tipo T-342 es sujeta a una fuerza de 5287.5 N Elaboración propia**

Las plantillas que utilicen el sistema opresor rectangular estaran sometidas a la misma cantidad de fuerza, la figura 31 muestra el diseño y las areas donde actua el opresor.



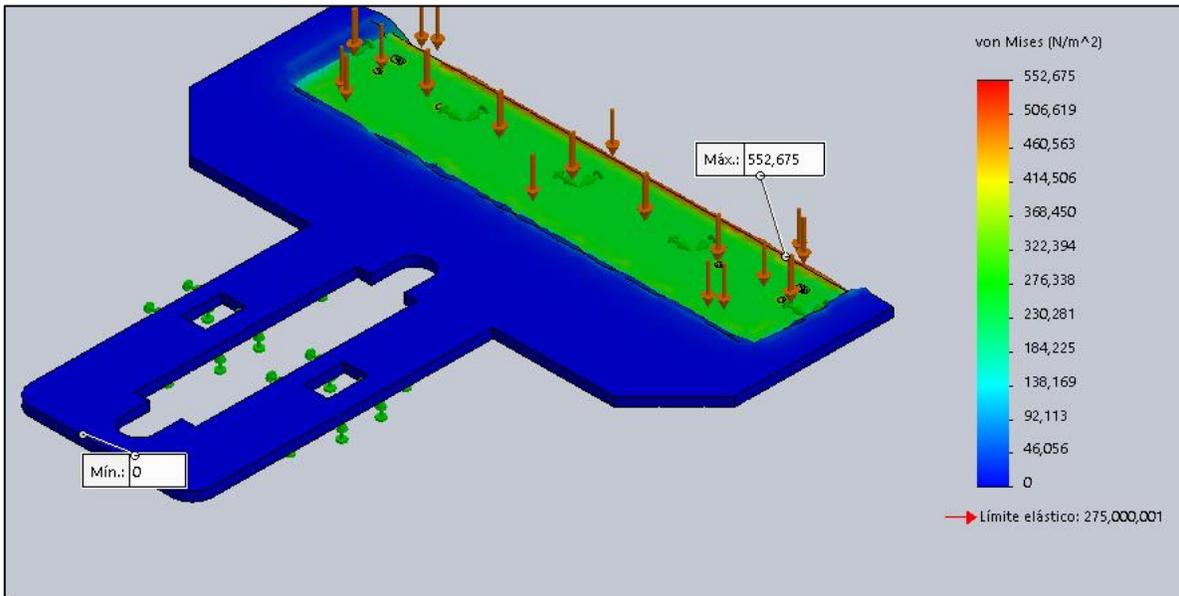
**Figura 31. Modelización para plantillas T-342**

Realizado el modelo 3D, se establecen los parámetros para la simulación, la figura 32 muestra las sujeciones y la fuerza de 5287.5 N



**Figura 32. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342**

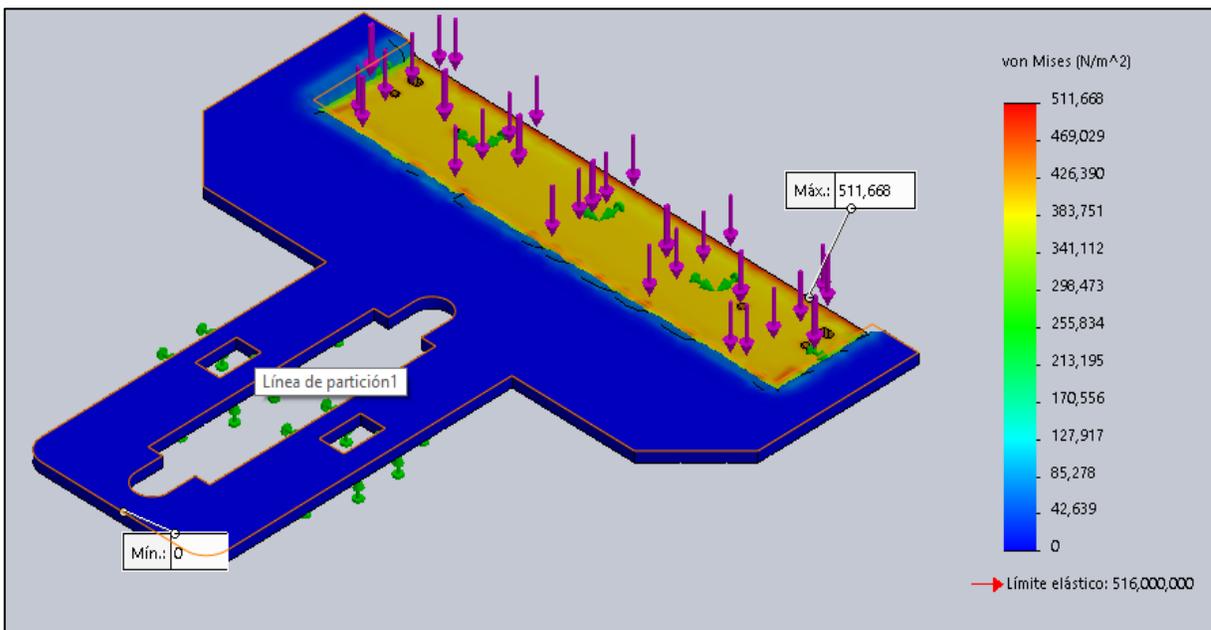
Luego es realizado el análisis estático en primer lugar el material Aluminio 6061 mostrado en la figura 32



**Figura 33. Análisis de tensiones en plantilla T-342 para el aluminio 6061**

La máxima tensión registrada es de 552.675 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 230,281 Pa a 368,450 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 275, 000,000 Pa.

Luego es realizado el análisis estático para la fibra de vidrio G-10, mostrado en la figura 34



**Figura 34. Análisis de tensiones en plantilla T-342 para la fibra de vidrio G-10**

La máxima tensión registrada es de 511,668 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 341,112 Pa a 426,390 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 516, 000,000 Pa.

### 4.3 Esfuerzos en plantillas de sujeción tipo T-342 A

Utiliza un sistema de opresor tipo paleta, accionado por un sistema neumático con 0.5 MPa (500,000 Pa) de presión de aire. El área donde actúa la presión  $0.0009 \text{ m}^2$ , la fuerza en N es obtenida mediante, al realizar el cálculo de la fuerza de compresión en la plantilla superior obtenemos, a partir de la ecuación 2:

$$P = (500,000 \text{ Pa} \times 0.0009 \text{ m}^2) = 450.0 \text{ N}$$



Figura 35. Plantilla de sujeción tipo T-342 A es sujeta a una fuerza de 450 N Elaboración propia

Las plantillas que utilicen el sistema opresor tipo paleta estaran sometidas a la misma cantidad de fuerza, la figura 35 muestra el diseño y las areas donde actua el opresor.

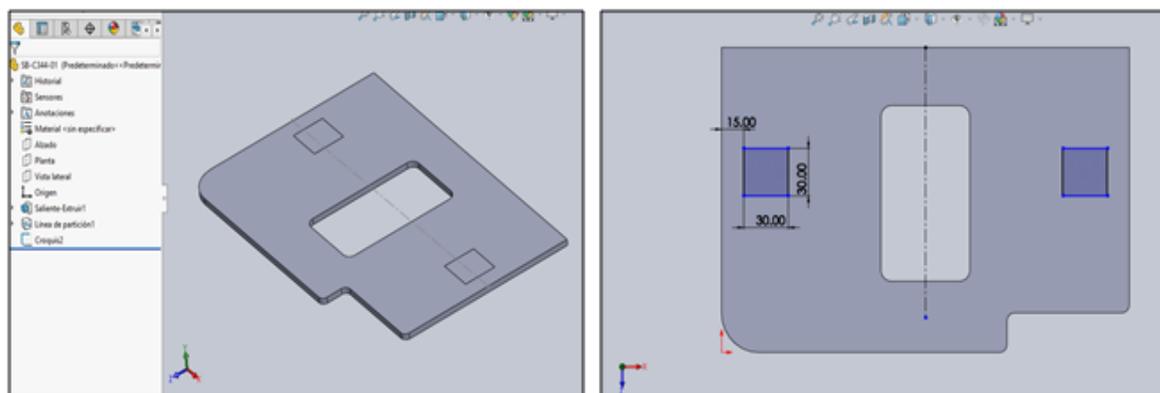
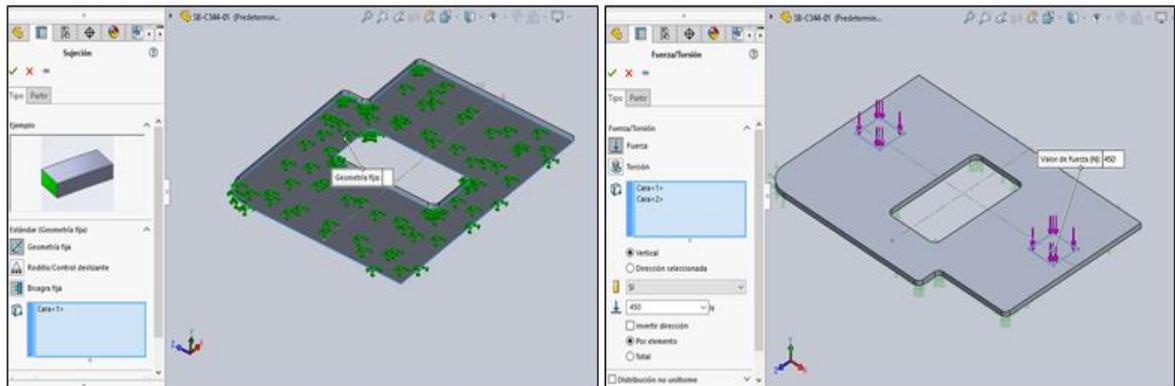


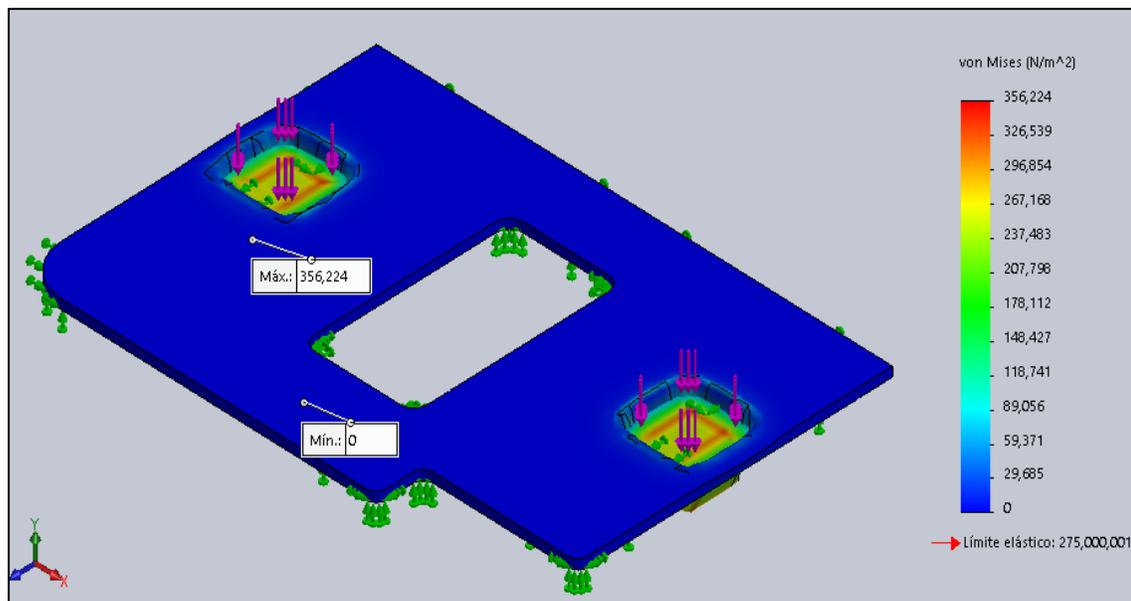
Figura 36. Modelización para plantillas T-342 A. Elaboración propia

Realizado el modelo 3D, se establecen los parámetros para la simulación, la figura 37 muestra las sujeciones y la fuerza de 450 N



**Figura 37. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342 A**

Luego es realizado el análisis estático en primer lugar el material Aluminio 6061 mostrado en la figura 38.



**Figura 38. Análisis de tensiones en plantilla T-342 para el aluminio 6061**

La máxima tensión registrada es de 356,244 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 118,741 Pa a 296,854 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 275, 000,000 Pa.

El análisis para la fibra de vidrio es mostrado en la figura 39

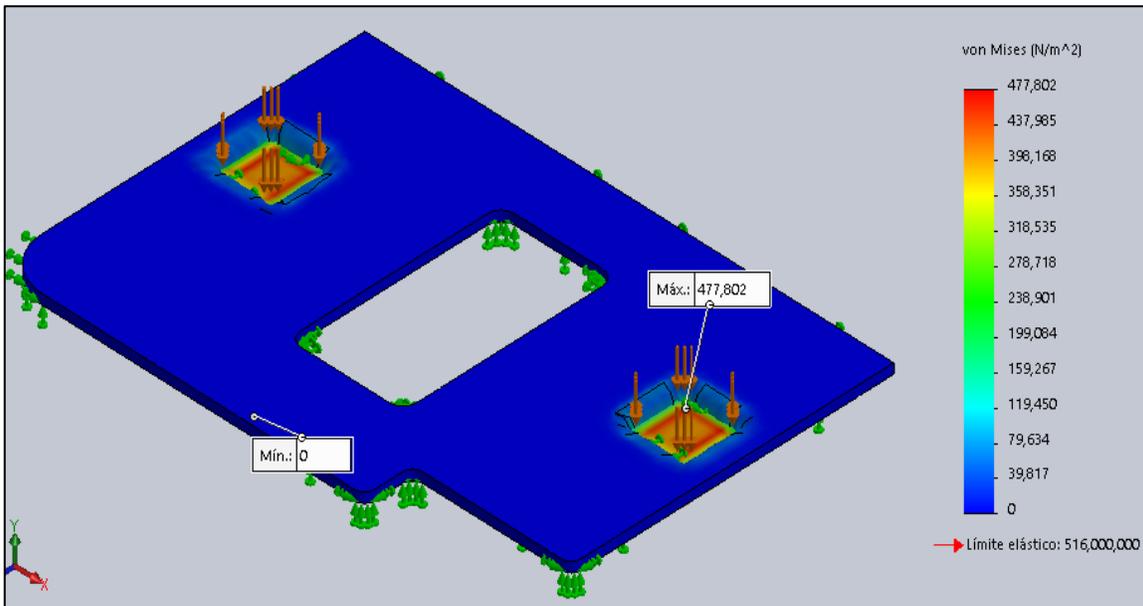


Figura 39. Análisis de tensiones en plantilla T-342 para la fibra de vidrio G-10

La máxima tensión registrada es de 477,802 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 159,267 Pa a 477,802 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 516, 000,000 Pa.

#### 4.4 Esfuerzos en plantillas de sujeción T-342 B

Es una variante del sistema tipo Bisagra y accionado por un prensor neumático con 0.8 MPa (800,000 Pa) de presión de aire a diferencia del resto de los sistemas que utilizan 0.5 MPa

El área donde actúa la presión 0.0018 m<sup>2</sup>, la fuerza en N es obtenida mediante, al realizar el cálculo de la fuerza de compresión en la plantilla superior obtenemos a partir de la ecuación 2:

$$P = (800,000 \text{ Pa} \times 0.0018 \text{ m}^2) = 1440 \text{ N}$$



Figura 40. Plantilla de sujeción tipo T-342 B es sujeta a una fuerza de 1440 N. Elaboración propia

Las plantillas que utilicen el sistema opresor Work Clamp tipo Pallet estaran sometidas a la misma cantidad de fuerza, la figura 41 muestra el diseño y las areas donde actua el opresor

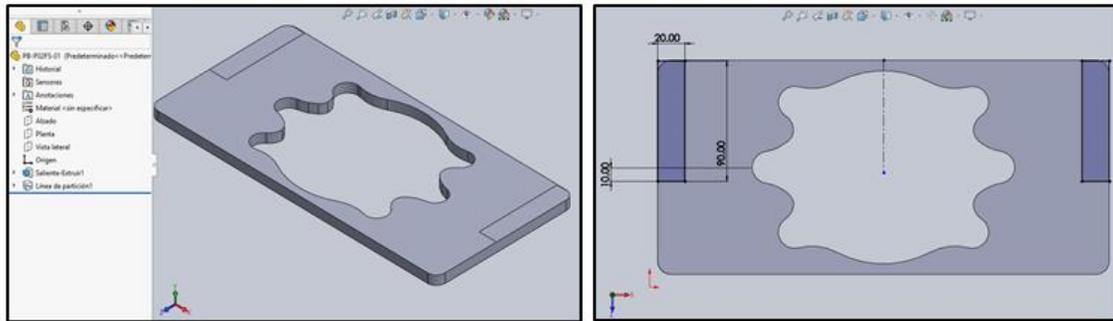


Figura 41. Modelización para plantillas T-342 A. Elaboración propia

Realizado el modelo 3D, se establecen los parámetros para la simulación, la figura 42 muestra las sujeciones y la fuerza de 1440 N.

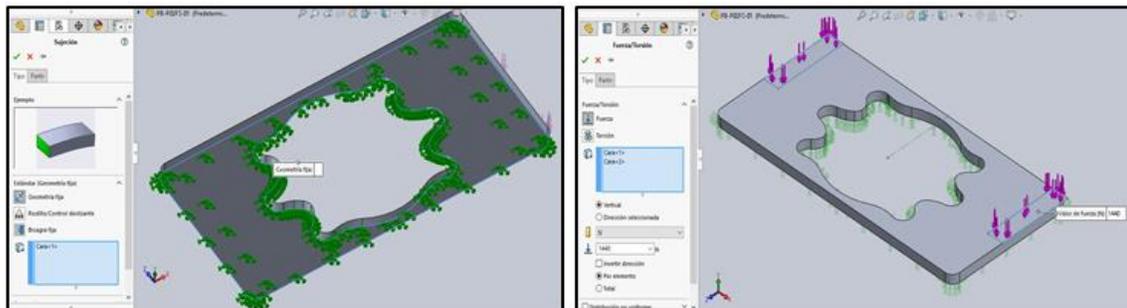


Figura 42. Sujeción y aplicación de fuerzas para las plantillas T-342 A

Luego es realizado el análisis estático en primer lugar el material Aluminio 6061 mostrado en la figura 43.

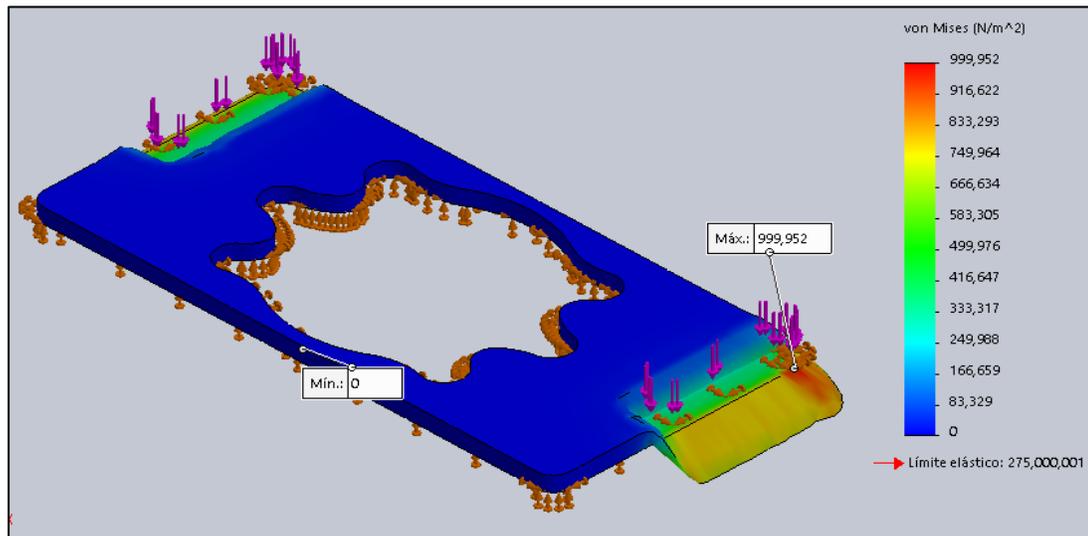
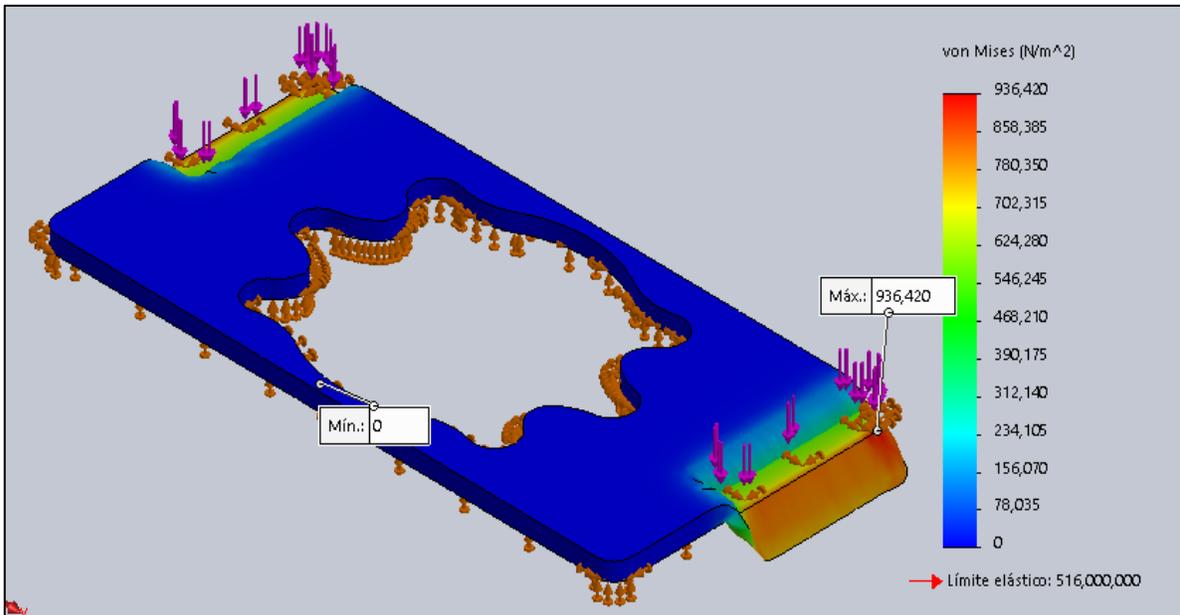


Figura 43. Análisis de tensiones en plantilla T-342 B para el aluminio 6061

La máxima tensión registrada es de 999,952 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 333,317 Pa a 749,964 Pa, mientras que el límite elástico es de más de 275, 000,000 Pa.

El análisis para la fibra de vidrio es mostrado en la figura 44



**Figura 44. Análisis de tensiones en plantilla T-342 B para la fibra de vidrio G-10**

La máxima tensión registrada es de 936,420 Pa, aunque el esfuerzo en la mayoría del área donde es aplicada la fuerza esta entre 312,140 Pa a 858,385 pascales, mientras que el límite elástico es de más de 516,000,000 Pa.

#### 4.5 Análisis de fatiga

Para dicho análisis es necesario realizar el cálculo de ciclos a los que están sometidos, 1,200 piezas/diarias X 5 días = 6,000 piezas semanales.

6,000 piezas/semana X 48 semanas (semanas laborales / año) = 288,000 piezas anuales Los modelos en general tienen una vida de 5 años, lo que equivale a: 1 440 000 piezas en ese periodo por tanto este sería el número de ciclos máximo a evaluar. Además, observamos que las cargas de las presiones van desde 0 hasta:

Plantilla T-311/326: 850.12 N

Plantilla T-342: 5287.5 N

Plantilla T-342A: 450 N

Plantilla T-342 B: 1440 N

Las cargas para cada tipo de plantilla son de amplitud constantes y cíclicas (en compresión). Los ciclos a probar las plantillas son determinados de acuerdo con la cantidad de piezas procesadas, tomare este número como promedio considerando 2 turnos de producción y 5 días laborales: 1,200 piezas/diarias X 5 días = 6,000 piezas semanales

6,000 piezas/semana X48 semanas (semanas laborales / año) = 288,000 piezas anuales

Los modelos en general tienen una vida de 5 años, lo que equivale a: 1 440 000 piezas este es el valor del máximo de ciclos a evaluar.

#### 4.5.1 Análisis de fatiga para el aluminio 6061

SolidWorks Simulation permitirá realizar los análisis de fatiga para los materiales con los que cuente la curva SN en sus bibliotecas, sin embargo, en el caso como en el de la fibra de vidrio, no se cuenta con dicha curva por lo que fue consultada de distintas investigaciones, una ventaja importante es requerir un análisis estático previo, lo cual fue realizado en la sección anterior, utilizaremos como ejemplo el análisis estático de la plantilla T-342 B. La figura 45 muestra los parámetros ingresados para dicha plantilla:

- Numero de ciclos: 1 440 0000
- Tipo de carga: Con base en O (Ya que la carga va desde 0 hasta 1440 N)
- Estudio de referencia (Estudio estático del aluminio 6061)

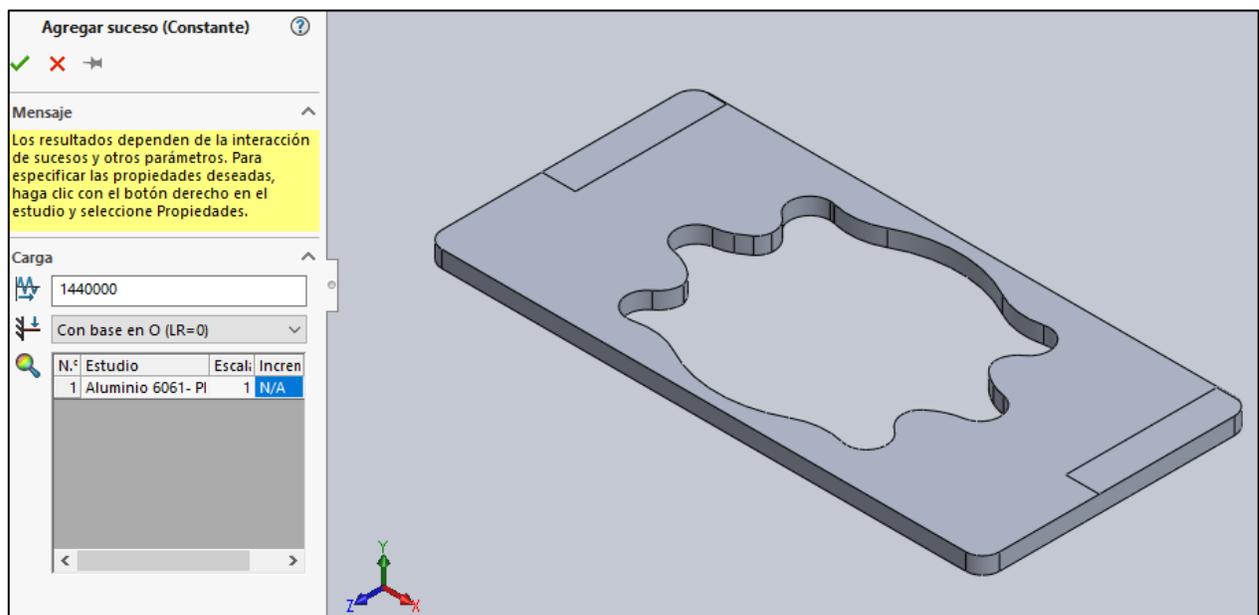


Figura 45. Parámetros para el análisis de fatiga del aluminio 6061

Luego cargaremos los datos de la curva SN obtenidos de la investigación y definidos para SolidWorks simulation. La figura 46 muestra los valores para dicha curva

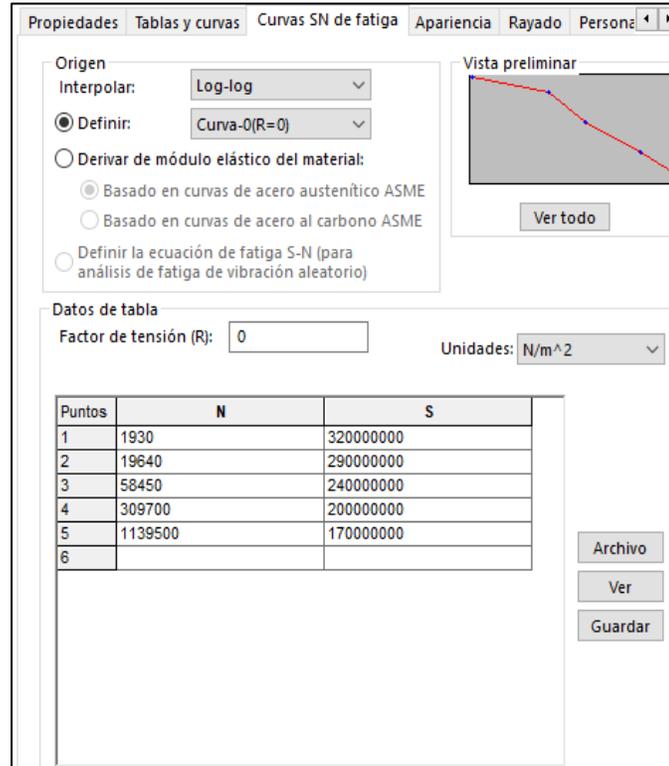


Figura 46. Datos para la curva SN del aluminio 6061

Al ejecutar el análisis aparece un mensaje indicando que la carga alternante en toda la pieza está por debajo del mínimo de la curva S-N por lo que no hay daño en la pieza.

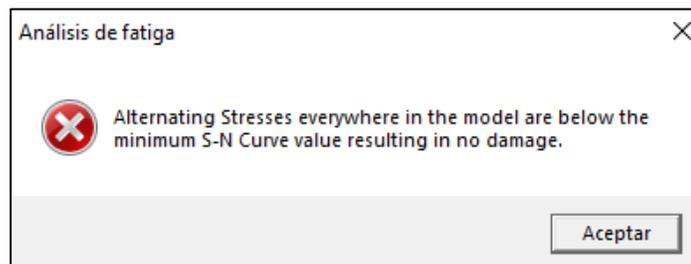
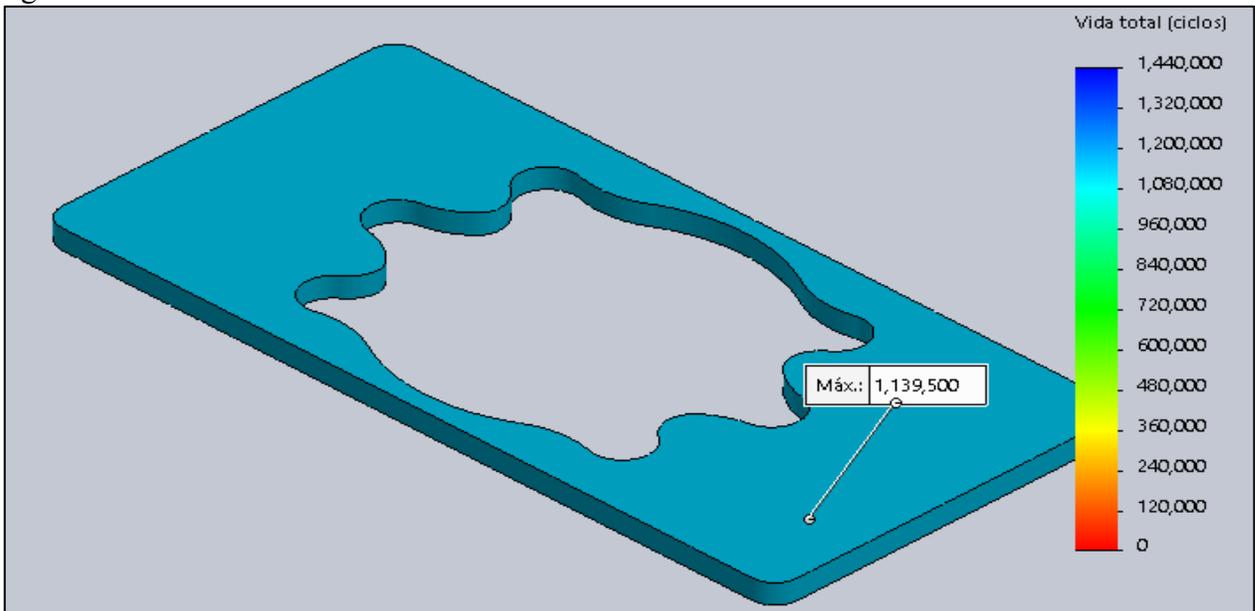


Figura 47. Mensaje de resultado para el análisis de fatiga de Aluminio 6061

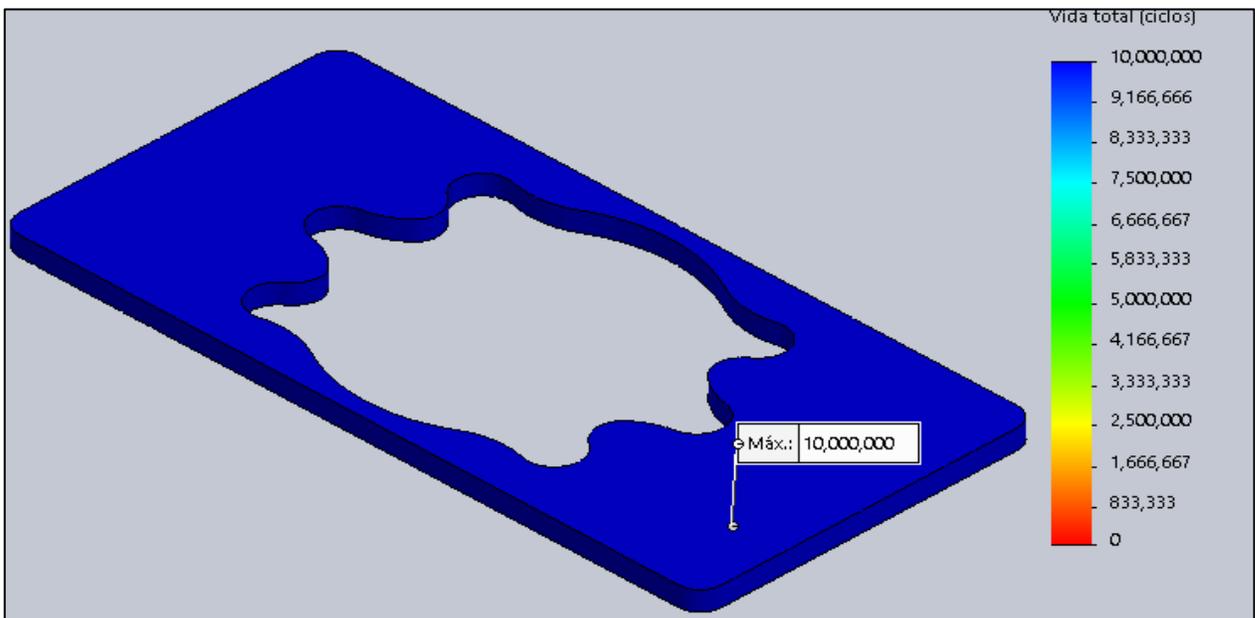
Posteriormente el resultado para la cantidad de ciclos que podrá soportar es mostrado en la figura 48



**Figura 48. Resultado para los ciclos de vida de Aluminio 6061 Plantilla T-342 B**

Los resultados indican que la plantilla podrá soportar hasta 1,139,500 ciclos, al dividir entre los 288,000 anuales, indica que podrá soportar 3.95 años. Al realizar los análisis para el resto de las plantillas, los resultados son idénticos por lo que tomamos este valor como indistinto para todas las plantillas de Aluminio 6061.

#### 4.5.2 Análisis de fatiga para la fibra de vidrio

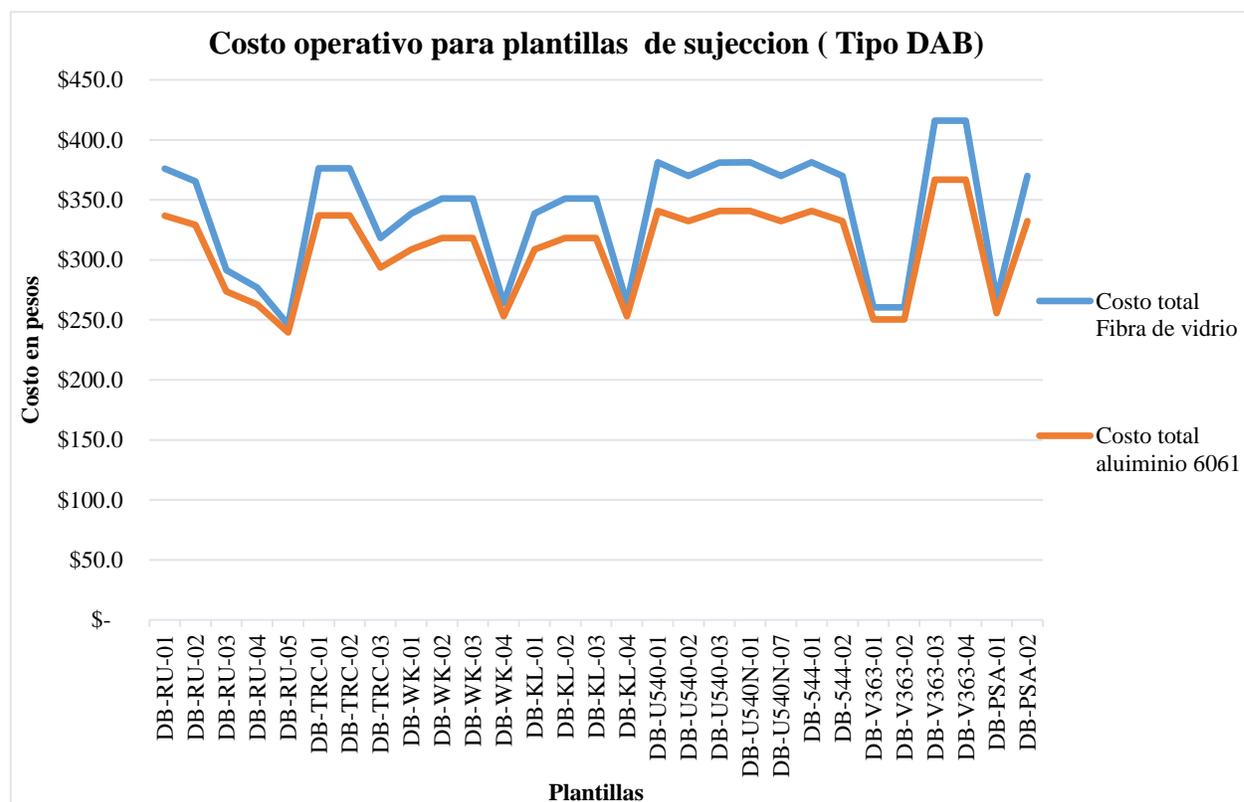


**Figura 49. Resultado para los ciclos de vida para la fibra de vidrio G-10**

Los resultados indican que la plantilla podrá soportar hasta 10,000 000 ciclos, al dividir entre los 288,000 anuales, indica que podrá soportar 34.72 años. Al realizar los análisis para el resto de las plantillas, los resultados son idénticos por lo que tomamos este valor como indistinto para todas las plantillas de Aluminio 6061.

#### 4.6 Costos operativos

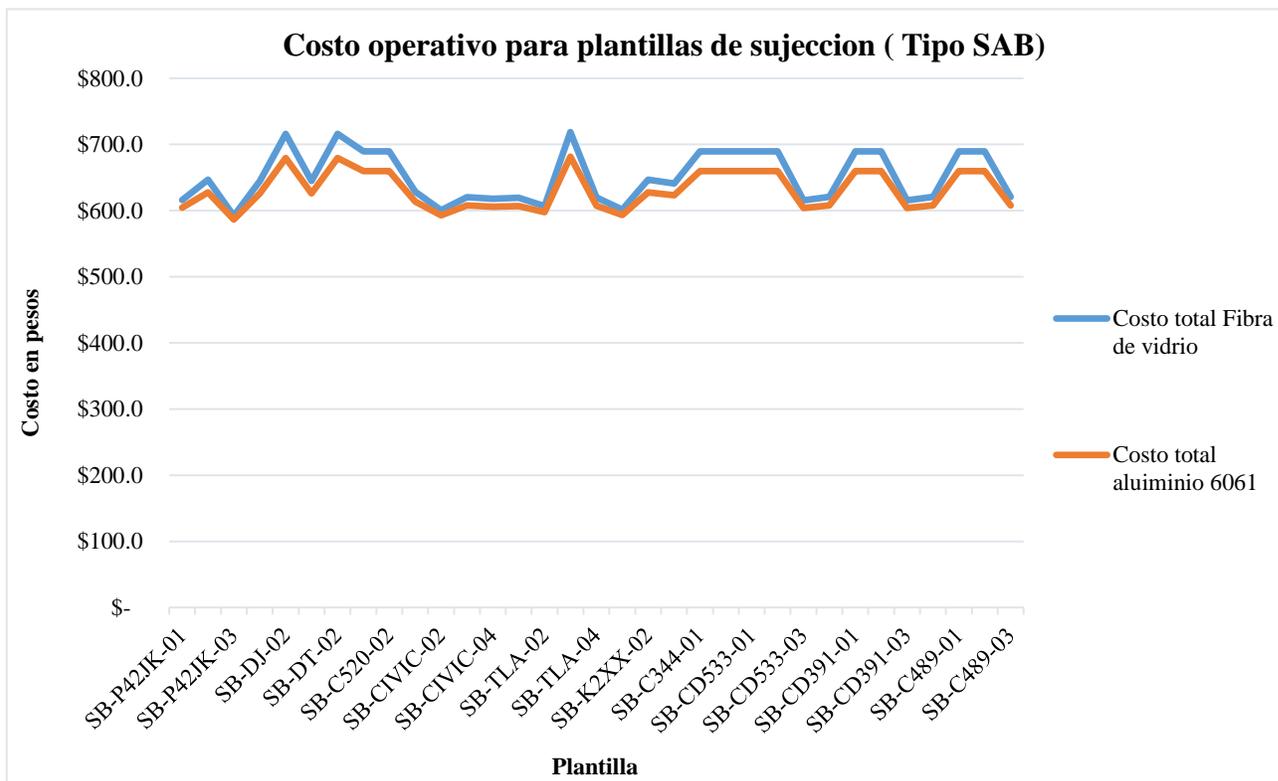
Al realizar la investigación documental de costos para los materiales por hoja de 4 ft x 8 ft en el caso del aluminio 6061 & la fibra de vidrio G-10, además de los costos por tiempo de diseño por parte del ingeniero de procesos, así como los costos por tiempo del técnico para la fabricación. La figura 50 muestra los costos para el tipo de bolsa DAB, al calcular con la ecuación 3 los costos para cada plantilla



**Figura 50 Costos operativos de las plantillas para el tipo DAB**

Los costos oscilan entre 250 y 450 pesos, siendo la Fibra de vidrio más alta en costo en comparación al Aluminio 6061.

La figura 51 muestra los costos operativos para el tipo de bolsa SAB



**Figura 51. Costos operativos de las plantillas para el tipo SAB. Elaboración propia**

Los costos oscilan entre 600 y 700 pesos, siendo la Fibra de vidrio más cara que el Aluminio 6061, e igual caso que la familia DAB, por tanto, es de esperarse la tendencia similar al resto de los tipos de bolsas: Fibra de vidrio a un mayor costo que aluminio. La tabla 6 muestra los resultados de los análisis

Tabla 6. Tabla de resultados de los análisis de tensiones, fatiga y costos

Tipo de plantilla	Análisis de tensiones Aluminio (Mpa)	Análisis de tensiones G-10 (Mpa)	Análisis de fatiga de Aluminio 6061 (Años)	Análisis de fatiga G-10 (Años)	Análisis de costos Aluminio (Mayor/Menor)	Análisis de costos G-10 (Mayor/Menor)	Material predilecto
T-311/326	243,111 – 388,355	353,930- 486,544	3.9	37.7	Menor	Mayor	Aluminio 6061
T-342	230,281- 368,450	341,112- 426,390	3.9	37.7	Menor	Mayor	Aluminio 6061
T-342 A	118,741- 296,854	159,267- 477,802	3.9	37.7	Menor	Mayor	Aluminio 6061
T-342 B	333,311- 799,694	312,140- 858,385	3.9	37.7	Menor	Mayor	Aluminio 6061

Primeramente, observamos valores de un punto en Máxima tensión son para el aluminio, nos interesa conocer el rango de las tensiones, no solo el de un punto en específico, por tanto hemos colócalo los valores de dicho rango , luego el ciclo de vida en base a los estudios de fatiga en los cuales fue obtenido el mismo valor de ciclo de vida para todas las plantillas de aluminio o de fibra de vidrio independientemente del valor de la carga aplicada así mismo no interesa conocer el costo exacto de cada plantilla, por lo que en base a los valores de los tipos de bolsa DAB & SAB conocemos que material tendrá un costo mayor o menor, en la última columna es colocada la elección en base a los resultados para cada plantilla tomando como referencia el valor de menor tensión , valor de mayor tiempo de ciclo de vida, y valor de menor costo, siendo en Tensiones, y costo el aluminio 6061 mientras que en fatiga por ciclo de vida es la fibra de vidrio aunque con tiempo excedente a la vida del modelo.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

De acuerdo con las simulaciones realizadas, el aluminio 6061 promedias tensiones de 98,000-110,000 Pa más bajas en comparación para la fibra de vidrio en plantillas T-311/326, 58,000 a 111,00 Pa más bajas para las plantillas T-342, 41,000 a 181,000 Pa más bajas en plantillas T-342 A y 21,000 a 59,000 Pa más bajas para las plantillas T-342 B, por tanto, en tensiones el material idóneo es el aluminio 6061.

El análisis de fatiga basado en los ciclos de 5 años de producción muestra al aluminio capaz de soportar hasta 4 años en servicio, lo cual es 1 año menor a los de 5 años estimado para la vida de un modelo, en cambio la fibra de vidrio puede soportar hasta 37 años, por lo que es recomendable utilizar aluminio para aquellos modelos en los que su ciclo de vida sea menor que 4 años, en caso de ser mayor a 4 años , utilizar la fibra de vidrio.

Los costos operativos muestran un 28 % más altos a la fibra de vidrio en comparación al aluminio, esto es debido en su mayor parte al costo del propio material.

Podemos rechazar la hipótesis nula debido a la selección adecuada de los materiales, en su mayor parte aluminio si reducirá los costos operativos ya que si existe una diferencia entre los materiales, por un lado el aluminio soportara mejor las tensiones y su bajo costo, salvo en casos donde la vida del modelo exceda los 4 años donde será preferencial usar la fibra de vidrio G -10

Es recomendable realizar análisis adicionales que puedan reforzar los resultados como: vibracionales o pandeo, además de análisis geométricos en busca de reducir los costos de material, así mismo es recomendable un análisis para materiales alternativos a los actuales en la búsqueda de minimizar los costos.

## Lista de referencias bibliográficas

- Moon, S.-I., Cho, I.-J., & Yoon, D. (2010). Fatigue life evaluation of mechanical components using vibration fatigue analysis technique. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 631-637.
- Bian, L., Cheng, Y., & Taheri, F. (2014). Elasto-plastic analysis of critical fracture stress. *Springer-Verlag Wien*, 3059-3072.
- Cecil, J. (2001). A Clamping Design Approach for Automated Fixture Design. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- CEP. (2010). *Manual de Costura*. Madrid: CEP.
- Cross, N. (2001). *Engineering Design Methods*. England: Wiley.
- Díaz de León Santiago, V. M., González Ajuech, V. L., Rosete Fonseca, J. C., & Díaz de León Mendoza, N. (2018). *Mecánica de Materiales. Teoría y Aplicaciones*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ibáñez, P. (19 de Marzo de 2014). *Circula Seguro*. Obtenido de <http://www.circulaseguro.com>: <http://www.circulaseguro.com/tipos-de-airbags-en-los-coches/>
- Jones, I., & Stylios, G. K. (2013). *Joining textiles*. Philadelphia: Woodhead Publishing.
- Jumbo, E. E. (2004). Sequence Modeling and Calculations in the Design of Revolving Clamp Assembly. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 34-38.
- Leon Useche, C. D., & Solaque Guzman, L. E. (21-22 de Octubre de 2015). Análisis estático de sistema de fijación para asegurar centro en entornos cilíndricos. *IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN - CIIMA 2015*. Envigado, Antioquia, Colombia.
- Li, X., Ni, Y., Ming, X. G., Song, W., & Cai, W. (2015). Module-based similarity measurement for commercial aircraft tooling design. *International Journal of Production Research*, 5382-5397.
- Maldonado, A. (27 de Abril de 2017). *Motorpasion*. Obtenido de [www.motorpasion.com.mx](http://www.motorpasion.com.mx): <https://www.motorpasion.com.mx/motorguia/bolsas-de-aire-mitos-y-realidades>
- Maza, P. (13 de enero de 2011). *noticias.coches.com*. Obtenido de [Coches.com](http://Coches.com): <https://noticias.coches.com/noticias-motor/como-funciona-el-airbag/33962>
- Muñoz Vega, A., & Balvantín García, A. (2017). DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN HERRAMENTAL DE SUJECCIÓN PARA EL ROBOT NACHI MZ04. *Jovenes en la ciencia*, 2020-2024.
- Nayak, R., & Padhye, R. (2015). *Garment Manufacturing Technology*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Olayinka, O., Khumbulani, M., & Olga, B. (2016). Design, simulation and experimental investigation of a novel reconfigurable assembly fixture for press brakes. *Int J Adv Manuf Technol*, 663-679.
- Orozco, G. M. (20 de Julio de 2016). *Prueba de ruta*. Obtenido de [www.pruebaderuta.com](http://www.pruebaderuta.com): <https://www.pruebaderuta.com/cuando-se-activa-el-airbag-y-cuando-no.php>

Otto, K. N., & Wood, K. L. (2001). *Product Design*. New Jersey: Prentice Hall.

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2004). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana.

SolidWorks. (2018). Obtenido de [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com):

[http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Linear\\_Static\\_Analysis.htm](http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm)

VALENCIANA DE ALUMINIOS, C. Y. (Enero de 2016). <http://www.valencianadeacp.com>. Obtenido de VALENCIANA DE ALUMINIOS, COBRES Y PLÁSTICOS S.A:

[http://www.valencianadeacp.com/images/valenciana/fichas\\_tecnicas/aluminios/Ficha%20Tecnica%20Aluminio%20AW6061\\_VACP.pdf](http://www.valencianadeacp.com/images/valenciana/fichas_tecnicas/aluminios/Ficha%20Tecnica%20Aluminio%20AW6061_VACP.pdf)

Vimal Raj K, D. G. (2018). Improving fatigue life of gas turbine fan blade using advanced. *Improving fatigue life of gas turbine fan blade using advanced*. Telangana, India.

Vink Plastics Spain, S. L. (19 de Marzo de 2019). [www.ampla.es](http://www.ampla.es). Obtenido de

[https://www.ampla.es/uploads/productos/files/fibra-vidrio-g10-y-g11/es/FIBRA\\_DE\\_VIDRIO\\_EPOXI\\_-\\_G10.pdf](https://www.ampla.es/uploads/productos/files/fibra-vidrio-g10-y-g11/es/FIBRA_DE_VIDRIO_EPOXI_-_G10.pdf)

Wickell, J. (17 de Marzo de 2019). *The spruce crafts*. Obtenido de

[www.thesprucecrafts.com](http://www.thesprucecrafts.com): <https://www.thesprucecrafts.com/sewing-machine-feed-dogs-2821615>

[www.shimadzu.com](http://www.shimadzu.com). (Marzo de 2019). Obtenido de shimadzu:

[https://www.shimadzu.com/an/industry/ceramicsmetalsmining/body\\_interior0101010.htm](https://www.shimadzu.com/an/industry/ceramicsmetalsmining/body_interior0101010.htm)