

Research Article

# Design and Construction of a Chassis for a Single-seat Electric Prototype

## Diseño Y Construcción De Un Chasis Para Un Prototipo Eléctrico Monoplaza

J Patache\*, B Moreta, J Pancha, R Pozo

Facultad de mecánica, Escuela superior politécnica de Chimborazo.

V CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE MECÁNICA

Corresponding Author: J  
Patache; email:  
juan.patache@epoch.edu.ec

Published: 24 July 2024

Production and Hosting by  
Knowledge E

© J Patache et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

### Abstract

This research aimed to design and build a lightweight chassis for an electric single-seater vehicle through software, computer-aided design (CAD), and computer-aided engineering (CAE) for adequate weight optimization. The dimensions that the pilot must comply with were developed as a first step for the construction of the chassis, through a statistical study to determine its mass and height. Once this phase was completed, the shape, size, and thickness of the profile were selected, considering availability in the environment, mechanical performance, and constructability; obtaining a square profile of 1.25 inches x 1.1 mm thick was the best option. Subsequently, we proceeded with the selection of materials where they were compared in different phases of the process. Through decision matrices and simulations using CAE software, g aluminum 6063 T5 was obtained as the most optimal material for manufacturing of the chassis (65% lighter than structural steel and has mechanical characteristics that meet construction needs). Finally, the chassis manufacturing process was carried out, which was essential for the good performance offered at the time of real tests. To verify the resistance and mechanical performance, several tests were carried out to determine the reliability of the chassis, which is why it has a fatigue safety factor of 3.065, satisfactorily resisting the fluctuating loads applied. It is concluded that the chassis was designed and built using CAD/CAE software having a mass of 10.5 kg, in addition to presenting a high resistance. It is recommended that for certain eventualities or buckling, the thickness of the profile could be increased, or, in turn, the structure to be reinforced with carbon fiber.

**Keywords:** *prototype, electric single seat, computer aid design (CAD), computer aid engineering (CAE), assembly, Monocoque.*

### Resumen

Se ha planteado como objetivo diseñar y construir un chasis liviano para un vehículo monoplaza eléctrico mediante los softwares, diseño asistido por computadora (CAD)/ ingeniería asistida por computadora (CAE) para una adecuada optimización del peso. Para la construcción del chasis se desarrolló como primer paso el dimensionamiento que debe cumplir el piloto a través de un estudio estadístico para determinar la masa y altura de este. Una vez concluida esta fase, se procedió con la selección de forma, tamaño y espesor de perfil, tomando en cuenta la disponibilidad en el medio, las prestaciones mecánicas y la facilidad al momento de construir, obteniendo como la mejor opción un perfil cuadrado de 1 1/4 pulgadas x 1.1 mm de espesor. Posteriormente se procedió con la selección de materiales y para ello se realizó la comparación de los mismos en diferentes fases del proceso, mediante matrices de decisión y simulaciones mediante software CAE, obteniendo como el material óptimo para la manufacturación del chasis al aluminio 6063 T5, siendo 65% más liviano que el acero estructural y además cuenta con características mecánicas que complacen las necesidades de construcción.

 OPEN ACCESS



Finalmente, se realizó el proceso de manufactura del chasis, siendo fundamental por las buenas prestaciones que ofreció al momento de realizar pruebas reales. Para la verificación de la resistencia y prestaciones mecánicas, se realizó varios ensayos que determinaron la fiabilidad del chasis, por lo que cuenta con un factor de seguridad por fatiga de 3,065, resistiendo satisfactoriamente a las cargas fluctuantes aplicadas. Se concluye que el chasis fue diseñado y construido mediante software CAD /CAE teniendo una masa de 10.5 Kg, además de presentar una alta resistencia. Se recomienda que para ciertas eventualidades o pandeo se podría aumentar el espesor del perfil o a su vez reforzar la estructura con fibra de carbono.

*Palabras Clave:* Prototipo; Monoplaza; Diseño Asistido por Computadora (CAD); Ingeniería Asistida por Computadora (CAE); Ensamblaje; Monocasco.

## 1. Introducción

En la actualidad el recambio e innovación que se está produciendo dentro del campo automotriz es radical, debido a la energía que se está utilizando para la movilidad, esto debido a los distintos factores que producen ese cambio generacional siendo el más importante el cambio climático.

Los beneficios en términos de eficiencia energética del coche eléctrico, más del doble frente al vehículo con motor de combustión interna tradicional y su menor intensidad de emisiones de GEI por kilómetro, justifican la promoción del vehículo eléctrico como una necesidad para las políticas energéticas y de I+D+i de los Estados miembros. El coche eléctrico no sólo permite reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones en el sector transporte, debido a la mayor eficiencia energética de su tecnología, sino que, además, los vehículos eléctricos enchufables a la red eléctrica –ya sean puros o híbridos- facilitarán la penetración de las energías renovables en un sector en el que es muy difícil su introducción.[1]

Los vehículos monoplazas han sido desarrollados e implementados a gran escala en los últimos años, se puede establecer que son utilizados principalmente en las competencias automovilísticas.

En este caso se ha optado por la implementación de un monoplaza eléctrico, enfocado hacia la optimización energéticamente mediante la reducción de peso y tamaño del chasis, sumándole aquello el tipo de carrocería para que adquiriera una mejor aerodinámica.

Acorde a esto se ha pensado en desarrollar un proyecto que nos permita desarrollar el conocimiento dentro de este gran campo como son la movilidad mediante vehículos eléctricos, y se ha acordado desarrollar un chasis que cumpla con las características requeridas.



Una vez establecido el requerimiento se ha pensado realizar un diseño lo más eficiente posible para ello se ha requerido de software CAD para el diseño y para la validación de la estructura se ha implementado el análisis y validación estructural de un software CAE.

En la actualidad, la industria necesita adaptarse a las nuevas tecnologías emergentes que le permitan simplificar, optimizar y elevar la calidad de los procesos de diseño y manufactura, los proyectos metalmecánicos son elaborados y comprobados antes de su fabricación, apoyados en potentes herramientas de DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR – CAD/CAE.[2]

Acorde a esto se puede establecer la importancia de seguir desarrollando proyectos que permitan la generación de nuevas ideas hacia la transformación en el campo automotriz. En este caso nos enfocaremos en el diseño y construcción del chasis, debido a que se trata de uno de los componentes principales del prototipo monoplaza eléctrico, permitiéndonos a través de ella obtener una mayor seguridad, un peso reducido, una mejor aerodinámica, una apropiada distribución y soporte del peso total, etc.

Dentro del proceso de construcción del chasis se deben tomar en cuenta las restricciones necesarias que serán analizadas, principalmente tomando en cuenta que se trata de una estructura que se someterá a distintos tipos de esfuerzos y agentes externos que podrían provocar un siniestro. Por otra parte, hay que enfocarse en un análisis del estudio bibliográfico para poder determinar el dimensionamiento adecuado del prototipo, es decir, tomando en cuenta componentes del tren de propulsión eléctrico, la ubicación y posición en la que se debe encontrar el piloto.

Para realizar el diseño con las mejores prestaciones, se ha basado en las restricciones del análisis estructural y la reglamentación en la que se sujeta, posterior a ello diseñar en software CAD y finalmente entra el proceso de simulación en software CAE, validando la construcción del chasis.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Estudio estadístico para dimensionamiento del piloto y otros componentes

Para realizar el diseño que va a tener el chasis también se debe considerar la altura y el peso del piloto, es por ello por lo que se ha partido de una ponderación promedio de los estudiantes en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

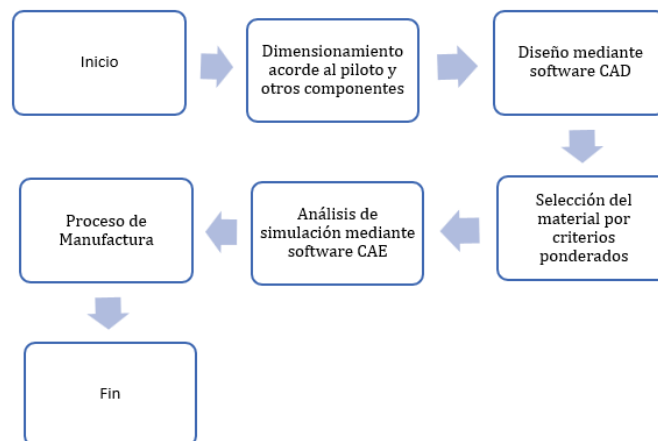


Figura 1

*Diagrama en bloques de la metodología.*

Herramienta fundamental que permite conocer el comportamiento de una población infinita a partir de un subconjunto obteniendo mayor precisión en los resultados.[3]

Se inicio el proyecto con el dimensionamiento del piloto donde lo que se realizo fue un análisis estadístico para determinar los valores de una persona en promedio de la facultad de mecánica de la carrera de ingeniería automotriz, para ello se utilizó la fórmula de tamaño de muestra.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

$Z_{\alpha}^2$  = Nivel de confianza

p= probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= (1- p) probabilidad de fracaso

d= Porcentaje de error

Para conocer los datos que intervienen en el cálculo se ha partido de un análisis previo, donde se muestran tablas referenciales para los distintos casos de estudio. Se inicia con el coeficiente de confianza que se establece mediante la siguiente tabla [3]:

El porcentaje de error se encuentra relacionado con el coeficiente de confianza, es por ello que se detalla en la siguiente tabla.

Mediante las tablas mostradas que nos permitió saber el coeficiente de confianza y el porcentaje de error para el análisis de estudio. Cabe mencionar que el porcentaje del nivel de confianza puede oscilar entre el 90% y 99,7% para calcular un tamaño de la muestra confiable, de igual manera para la probabilidad de éxito (p) se ha estimado



Tabla 1

*Coefficiente de Confianza asociado al Nivel de Confianza.*

Nivel de Confianza	Coefficiente de Confianza
90%	1,64
95%	1,96
95,50%	2,00
99%	2,58
99,70%	3

Elaborado por: Autores

Tabla 2

*Coefficiente de Confianza asociado al Error.*

Error $\alpha$	Coefficiente de Confianza
0,10%	1,64
0,05%	1,96
0,045%	2,00
0,01%	2,58
0,00%	3

Elaborado por: Autores

un valor de 0,5 acorde a las recomendaciones de los estudios previamente analizados, finalmente el tamaño de la población es de 692 estudiantes.

Una vez identificados los distintos valores se procedió a la obtención de los datos para reemplazar en la ecuación y realizar el calculo del tamaño de muestra tomando en cuenta la confiabilidad del estudio, una vez revisadas las tablas sobre los valores y los estudios previos que se han realizado de este tipo obteniendo el siguiente resultado.

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

$$n = \frac{692 * 1,64^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,1^2 * (692 - 1) + 1,64^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}$$

$$n = 61,3658 \approx 62$$

Realizado el calculo el numero de encuestas que se deben de realizar 62 encuestas para poder determinar el tamaño y peso de una persona promedio de la carrera ingeniería automotriz de la ESPOCH.

Después de realizar las encuestas se recopiló los datos y se obtuvo el tamaño de una persona promedio siendo este 1,68 m y el peso de una persona promedio de 72 kg que nos ayudaran a el diseño del chasis.

## 2.2. Posicionamiento del piloto para el diseño del chasis

Una vez realizado los cálculos, se establece que el piloto debe tener una altura de 1,68m, por lo tanto, debe ser ubicado como se presentara al momento de conducir el vehículo, la cabeza debe estar apoyada con una ligera inclinación del cuello, esto se lo realiza para determinar la altura máxima que va a tener el prototipo para poder realizar la medición respectiva.



Figura 2

*Medición y posicionamiento del piloto.*

Una vez determinado las características del piloto se procedió a realizar el dimensionamiento en base a la forma del piloto dándonos como referencias de medidas las siguiente.

Estas son las medidas que se han realizado acorde la posición del piloto, por lo tanto, son fundamentales para establecer el dimensionamiento que va a tener el chasis. Estas mediciones también sirven para determinar un cierto espacio y localización de algunos elementos que forman parte del prototipo como son el tren de propulsión, la dirección, los frenos, entre otros.



Tabla 3

*Medidas tomadas en referencia a la posición del piloto.*

Posición	Medidas (cm)
Alto (Hasta el borde del casco)	63
Alto (Adicionando los 5cm para el mamparo)	68
Largo	142
Ancho	60

Elaborado por: Autores

Tabla 4

*Porcentaje de Distribución del Centro de gravedad.*

Parte del Cuerpo Humano	%Distancia Centro de Gravedad (Hombres)	%Distancia Centro de Gravedad (Mujeres)	% Peso Hombre	%Peso Mujeres
Cabeza	0,5976	0,5894	0,0694	0,0668
Tronco	0,4486	0,4151	0,4346	0,4257
Brazo	0,5772	0,5754	0,0271	0,0255
Antebrazo	0,4574	0,4559	0,0162	0,0138
Mano	0,7900	0,7474	0,0061	0,0560
Muslo	0,4096	0,3612	0,1416	0,1478
Pierna	0,4459	0,4416	0,0433	0,0481
Pie	0,4415	0,4014	0,0137	0,0129

Elaborado por: Autores

Para realizar una buena dimensión debemos estipular los porcentajes de peso en la distribución del cuerpo para realizar los apoyos donde sean necesarios por esto se considera que el estudio estadístico está completo sabiendo la distribución de pesos.

### 2.3. Dimensiones y Pesos presentes en el Tren Motriz Eléctrico

Este apartado surge de la necesidad de referenciar el dimensionamiento y el peso del tren de propulsión eléctrico que va a ser adaptado en el prototipo.

Los componentes principales que forman parte del tren de propulsión eléctrico son los siguientes: motor eléctrico, baterías, controladores.[4] En este caso los controladores no implican una dimensión considerable ni un peso relevante por lo que resultan despreciables, tomando únicamente como referencia las otras opciones. Cabe mencionar que este tren motriz eléctrico se basa en un estudio previamente realizado y ha sido analizado. Tomar en cuenta que se implementarán dos baterías para el prototipo eléctrico.

Tabla 5

*Dimensiones y Pesos presentes del Tren Motriz Eléctrico.*

Elemento	Dimensionamiento		Unidades
Motor Eléctrico	Largo	17	cm
	Diámetro	15,2	cm
	Peso	5,45	kg
Batería	Largo	21,0058	cm
	Altura	12,192	cm
	Ancho	7,2898	cm
	Peso	1,14	kg

Elaborado por: Autores Fuente: (Morochó, 2017)



Figura 3

*Motor Eléctrico del Prototipo.*



Figura 4

*Batería Eléctrica del Prototipo.*

Finalmente, los pesos quedan delimitados de la siguiente manera:



Tabla 6

*Pesos Presentes en el Chasis.*

Peso del piloto	704,13N
Peso del Tren Motriz Eléctrico	75,75 N
Aplicación en Barra Antivuelco	700N

Elaborado por: Autores

La batería, el motor eléctrico y el controlador son los principales componentes que forman parte del tren de propulsión eléctrica por lo que es muy importante conocer las características para realizar el ajuste necesario en el chasis para proporcionar soportes y espacio. Para la selección del motor eléctrico hubo ciertos criterios a tomar en cuenta ya que uno ofrecía mejores prestaciones, pero su funcionalidad con el controlador no era el adecuado, es por lo que se ha seleccionado otro, aunque no variaba mucho sus prestaciones, este se caracterizaba por tener un peso reducido, una alta funcionalidad y la facilidad de instalación

## 2.4. Diseño mediante software CAD

La planificación es un instrumento de trabajo que busca anticipar acontecimientos sociales, económicos o de cualquier tipo para intentar encauzarlos en una dirección determinada. Esto implica que la planificación resulta ser un aporte fundamental para hacer que las cosas que han de pasar resulten lo más parecido a nuestros intereses.[5]

Tomando en cuenta las características obtenidas gracias a el estudio estadístico se procedió a realizar dimensionamiento y diseño de chasis mediante criterios ponderados y al realizar un boceto experimental real con las características del piloto obteniendo como premisa el siguiente diseño, apoyándonos en un software CAD.

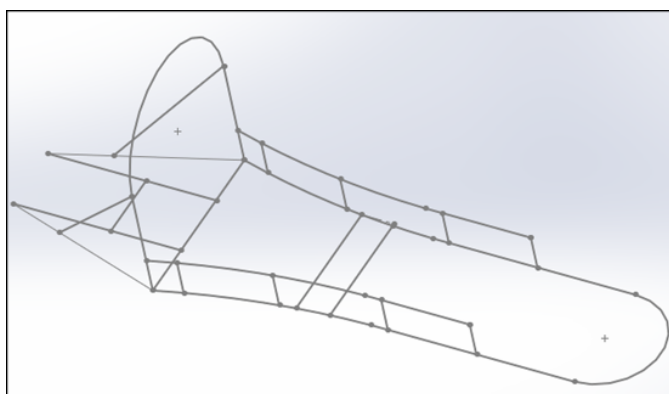


Figura 5

*boceto final del chasis luego del proceso de dimensionamiento y las optimizaciones.*



1. Posee apoyos delanteros y posteriores que servirán de sosten al chasis en el momento que sufra un esfuerzo por fatiga. Esta particularidad nos facilitará para que no haya algún tipo de ruptura en cualquier elemento y posterior a esto se produzca algún fallo en el chasis.
2. Tiene un radio de curvatura en la parte frontal, el cual proporciona un espacio adicional para que sea ubicado la pedalera del sistema de freno.
3. Mayor disponibilidad en la parte posterior, para ubicar adecuadamente el tren motriz eléctrico

Por otra parte, el dimensionamiento obtenido son los siguientes:

Tabla 7

*Dimensionamiento del Chasis.*

Ítem	Dimensiones
Barra de Seguridad: Altura	Altura total: 71,59 cm Altura máxima por dimensionamiento: 68 cm
Barra de Seguridad: Radio de Barra Antivuelco	Anchura total: 60 cm Anchura máxima por dimensionamiento: 60 cm
Piso del Bastidor: Longitud frontal del chasis	Longitud máxima: 142 cm
Piso del Bastidor: Longitud posterior del chasis	Longitud máxima: 60 cm Longitud Total: 142 cm + 60 cm = 202 cm

Elaborado por: Autores

## 2.5. Selección del Material

Una de las actividades más apasionantes, y a menudo más complejas, de la ingeniería es el proceso de creación, o diseño, de una máquina o un producto a partir de unas funciones y de unas prestaciones previamente especificadas. Constituye una materia pluridisciplinaria que incluye, entre otras, la teoría de máquinas y mecanismos, el cálculo y la simulación, las soluciones constructivas, los accionamientos y su control, la aplicación de materiales, las tecnologías de fabricación, las técnicas de representación, la ergonomía, la seguridad, la consideración de impactos ambientales y el fin de vida, que se integran en forma de un proyecto.[6]

Culminado el boceto se ejecutó la selección de perfil y material teniendo en cuenta criterios ponderados como son la resistencia mecánica, la facilidad de manufactura, acondicionamiento, disponibilidad del material en el mercado ecuatoriano, el costo y el peso, después de realizar el proceso de selección se pudo decidir que el mejor tipo de



material y sección es el perfil cuadrado de arista de 1 ¼ de pulgada y material aluminio T5.

Para comenzar con la selección de materiales se realizó una simulación, se verifico precios, densidad de los materiales siguientes:

- Acero de bajo carbono
- Fibra de carbono
- Aluminio

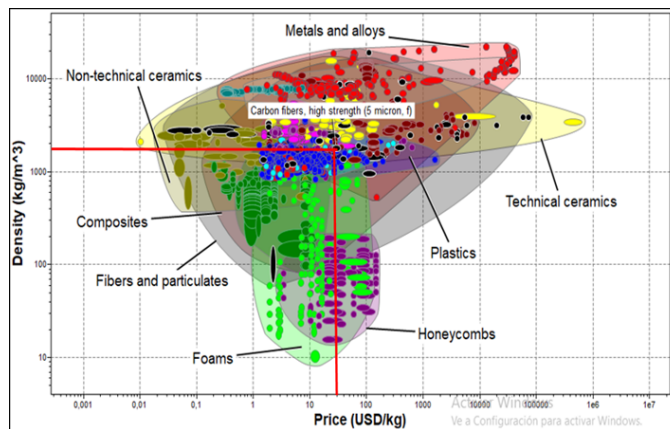


Figura 6

Gráfico de densidad vs precio.

Una vez determinado que el aluminio cumple con las características deseadas se realiza una selección entre los tipos de aluminio en base a sus características mecánicas, precio, acondicionamiento y proceso de manufactura.

Tabla 8

Selección del Perfil.

Ítem	Mejor Opción
Selección del tipo de Perfil	Perfil Cuadrado
Selección del tamaño y espesor del perfil	1 ¼ x 1.1
Selección del tipo de material	Aluminio 6063 T5

Elaborado por: Autores

Dándonos como resultado lo siguiente:

1. El perfil de mejores prestaciones es el cuadrado ya que nos brinda una mayor prestación y facilidad en el proceso de manufactura y tiene una mejor adaptación para la implementación de nuevos elementos en el chasis.



2. Para elegir el tamaño y espesor del perfil se ha realizado una matriz de decisión, siendo el mejor el perfil de 1 ¼ in x 1.1mm, tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado ecuatoriano, propiedades de resistencia y el peso.
3. En el caso del tipo de material se ha seleccionado el aluminio 6063 T5, esto se debe principalmente a su disponibilidad en el mercado, su costo, propiedades mecánicas y principalmente por su bajo peso.

Al momento de realizar este proceso el tiempo invertido fue bien recompensado ya que hizo un dimensionamiento óptimo para reducir costo, se concluyó con un material que nos ayudó a encontrar el material óptimo en precio, peso y resistencia mecánica.

## 2.6. Diseño en software CAD

Continuando el proceso se realizó el diseño ya preestablecido en un software CAD para visualizar la forma real que tendrá, y dimensionar la cantidad de material que se debe de utilizar.

Estos objetos se definen como "inteligente" por su capacidad de actualización automática, también en respuesta a los cambios realizados por el diseñador a otros objetos, pero conectados entre sí, lo que resulta en una propagación automática de los cambios y una actualización continua del modelo virtual completo.[7]

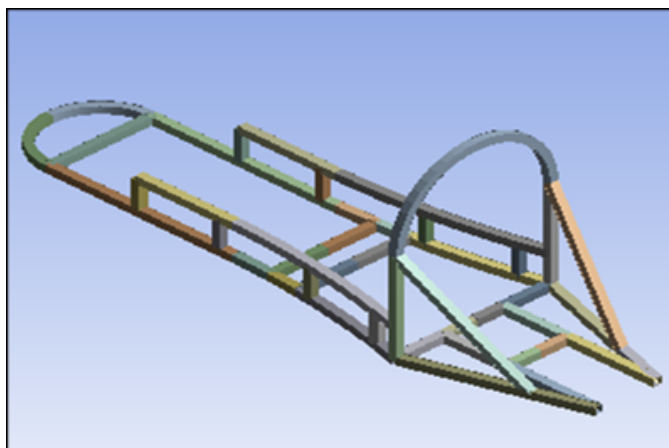


Figura 7

*Diseño final en software CAD.*

Se observa que el diseño es lo más estético posible y se realizaron las optimizaciones pertinentes para que el chasis sea lo más liviano posible, donde se han ubicado los apoyos para el asiento del conductor y apoyos para el tren motriz que se ha pensado en montar dentro del vehículo.

## 2.7. Asignación de Cargas

Una vez terminado el diseño en software CAD se procede con la simulación mediante software CAE, por lo que se inicia con la asignación de cargas para la realización del análisis por elementos finitos, en donde se podrá conocer la deformación y factores de seguridad que nos darán la certeza de que el diseño sea óptimo.

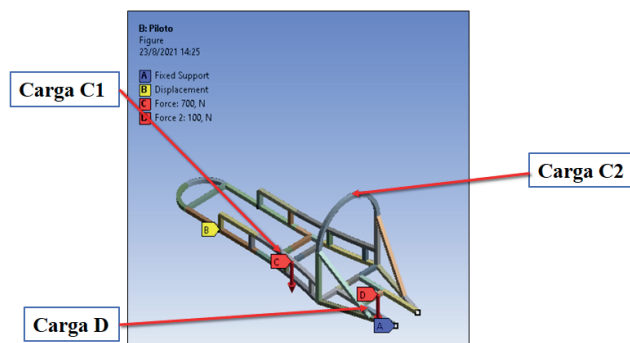


Figura 8

*Asignación en software CAE.*

Una vez obtenido las cargas que previamente se han analizado y ubicado, se inició con la ubicación de una carga distribuida en el soporte del asiento ya que este será el lugar donde se va a permanecer toda la carga del peso del piloto, en este caso la fuerza C1.

Por otra parte, se ubicó la carga de los elementos principales que forman parte del tren motriz eléctrico, siendo estos el motor, controlador y baterías, para lo cual han sido asignados mediante la fuerza D de la misma figura.

Obedeciendo a las reglamentaciones, ha sido asignado una fuerza que debe soportar la barra antivuelco, siendo uno de los elementos principales de protección para el piloto, por lo tanto, debe soportar una carga de 700N para verificar su funcionalidad, en este caso ha sido asignado mediante la fuerza C2 de la figura.

## 2.8. Proceso de doblado de perfil

El proceso de manufactura es el sistema donde la materia prima pasa a ser un producto, pasando por el proceso de diseño, selección de material y la secuencia la cual la materia prima pasa a ser un producto.[8]

El diseño del chasis implica ciertas curvaturas, permitiendo que sea aerodinámico y de igual forma que no sea más estético. Se ha optado por realizar una sola pieza toda la base del chasis ya que con esto se disminuirá el riesgo de que haya algún

tipo de deformación por fatiga a causa de los esfuerzos fluctuantes a la que va a estar sometido, es decir, un menor número de cortes en la base disminuirá el riesgo de algún tipo de ruptura

Tabla 9

*Tabla de doblado de perfiles.*

Ítem	Ilustración
Doblado Delantero del Chasis	
Doblado de la Barra Antivuelco	
Doblado de Laterales	

Elaborado por: Autores


En el doblado de tubos por arrastre intervienen 5 herramientas fundamentales: los dados (curvo y de presión, mordaza y soporte) y mandril interno.[9]

## 2.9. Cortes de perfiles

Una vez realizado el doblaje del perfil que incluye la barra antivuelco, la parte delantera del chasis y los laterales se deben continuar los cortes para el resto de los elementos. Cabe mencionar que la perfección es indispensable en este apartado ya que todo está ligado a un análisis y un estudio de dimensionamiento que previamente han sido desarrollados mediante software CAD y CAE, por lo tanto, demanda de una alta exactitud

Tabla 10

Cortes de perfiles.

Ítem	Ilustración
Corte parte Delantera del Chasis	
Corte Parte Posterior del Chasis	

Elaborado por: Autores

## 2.10. Proceso de soldadura

Los procesos de soldadura, como GTAW (TIG) y GMAW (MIG), están sustituyendo actualmente a otros más tradicionales, como el SMAW (Arco Manual), en sus aplicaciones a las aleaciones de aluminio.[10]

El tipo de soldadura a emplearse es la TIG, destacándose porque tiene la facilidad para trabajar con espesores delgados, lo que mejorará el proceso de producción. En este caso, para obtener un acabado ideal del chasis, se ha tomado en cuenta que este tipo de soldadura no produce salpicadura, además de que los cordones son más resistentes principalmente porque el gas protector impide que haya un contacto entre el oxígeno y el baño de fusión.[5]

Para realizar un adecuado proceso de soldadura se ha utilizado la máquina TIG Miller Syncrowave 250 DX, el cual ofrece las prestaciones necesarias para el chasis

Una vez establecido el tipo de soldadura a emplearse, se inicia con el procedimiento de este:

Se debe tener un amplio campo de visualización y estar en una posición adecuada, consecuentemente se inicia con el procedimiento, asegurándose de que el cordón realizado propicie la correcta unificación del material, además de precautelar la parte estética del mismo. Es por ello por lo que se ha trabajado con un voltaje de 15 V y un



Figura 9

*Soldadora TIG Miller Syncrowave 250 DX.*

amperaje de 125 A, por otra parte, los cordones de soldadura fueron ubicadas en una posición plana de 30 mm x 3 de espesor.

Este tipo de soldadura trabaja con espesores desde 0,4mm y tomando en cuenta que se ha trabajado con un perfil de 1,10mm de espesor, se considera que facilita notoriamente su procedimiento.[6]

La longitud de arco depende de cada operador, en este caso se ha mantenido entre los 2 y 5mm de longitud.





Figura 10

*Soldadura parte Posterior del Chasis.*



Figura 11

*Longitud de Arco de la Soldadura.*

Soldadura mediante el procedimiento TIG con corriente alterna, con una frecuencia de 150 Hz y un balance de penetración del 70 %, utilizando argón como gas de protección.[10]

Para el selecciona miento de la corriente ideal se ha considerado la alterna, debido a que opera mejor con el aluminio

Es importante limpiar la superficie para soldar, esto se lo realiza con el objetivo de remover las capas de revestimiento.

Finalmente, una vez seguido todos estos requerimientos de soldadura, el chasis se ha realizado satisfactoriamente.



Figura 12

*Chasis completo.*

### **3. Resultados y Discusión**

Una vez realizado los distintos procedimientos en el diseño y construcción del chasis para el prototipo monoplane eléctrico, se han establecido una serie de resultados en el cual nos denotan la validación del diseño.



### 3.1. Resultados de Simulación en Software CAE

El análisis por el método de elementos finitos (FEA) es la solución a muchos problemas de ingeniería, caracterizado por modelos matemáticos más o menos complejos en los cuales intervienen un conjunto de parámetros para predecir fallos en todo sistema físico continuo con un material específico determinado.[11]

Para una mejor orientación de los datos se lo ha estipulado mediante la siguiente tabla.

Tabla 11

*Resultados de Simulación en Software CAE.*

Especificaciones	Aluminio 6063 T5
Deformación Total	0,953mm
Factor de Seguridad Estático	6,181
Factor de Seguridad por Fatiga	3,065

Elaborado por: Autores

Este tipo de análisis constituye una alternativa de mejora al método tradicional de diseño y desarrollo usado en ingeniería denominado de “prueba y error”, en el cual se tienen costos y tiempos de manufactura para desarrollar un prototipo, el cual genera limitaciones para estudiar la totalidad del sistema físico y solo se pueden verificar determinados puntos.[11]

### 3.2. Deformación Total

Acorde a la prueba de simulación efectuada se ha obtenido la siguiente elongación.

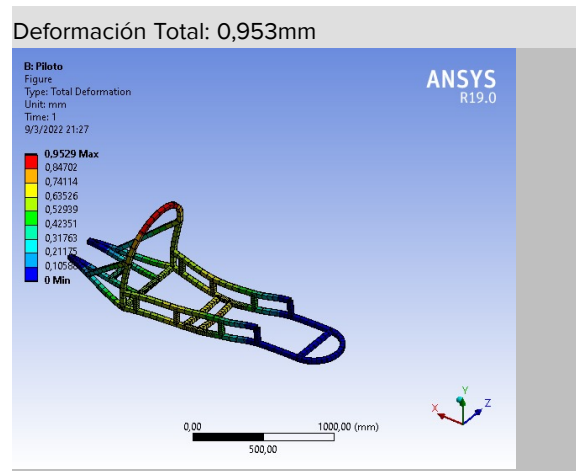
Acorde a la normativa AISC 360, el cual establece que la deformación total obtenida es admisible, cuando la longitud máxima de la estructura se divide para 240 en cargas combinadas y no supera dicho valor.

En este caso, el chasis tiene una longitud total de 2050mm, por lo que a este valor se lo divide para 240 y obtenemos una deformación admisible hasta 8,541mm, por lo tanto, la estructura no supera el límite estipulado y aprueban satisfactoriamente esta normativa

De manera general esta elongación resulta despreciable por lo que no es notoria en la estructura.

Tabla 12

*Análisis de la Deformación Total.*



Elaborado por: Autores

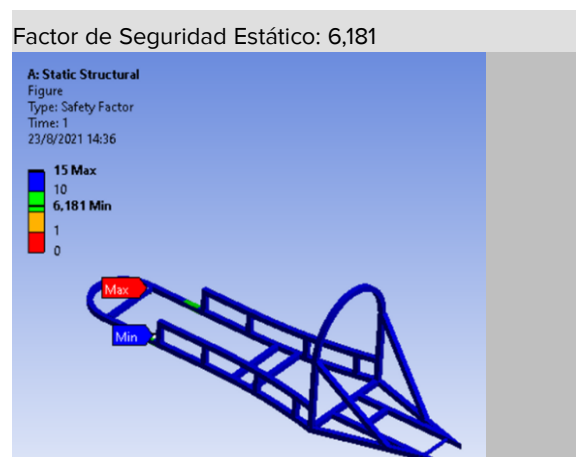
### 3.3. Simulación Factor de Seguridad Estático

El método de los Elementos Finitos permite un acercamiento bastante exacto a la realidad, pero necesita ordenadores con una potencia de cálculo suficiente para abordar estos problemas.[12]

Con respecto al factor de seguridad estático se ha obtenido el siguiente resultado.

Tabla 13

*Análisis del factor de Seguridad Estático.*



Elaborado por: Autores

Se ha obtenido un valor de 6,181; es decir, cumple satisfactoriamente con respecto al umbral mínimo de 2 en elementos estructurales.[13]

Cabe mencionar que en este tipo de estudio las cargas actúan de manera constante, es decir, el estudio no está sometido bajo criterios de cargas fluctuantes. En este caso el factor de seguridad del Aluminio 6063 T5 es de 6.181, brindándonos una mayor seguridad porque se trata de un material maleable.

### 3.4. Simulación Factor de Seguridad por Fatiga

Lo más característico de las máquinas o de los vehículos es el movimiento. Ese movimiento genera acciones inerciales, que junto con las acciones motrices y las resistentes usualmente son cambiantes tanto en dirección como en magnitud. Así pues, la mayor parte de los proyectos de diseño mecánico están relacionados con cargas que introducen tensiones cíclicas o variables en el material.[14]

En el caso del factor de seguridad por fatiga se ha obtenido el siguiente valor.

Tabla 14

*Análisis del Factor de Seguridad por Fatiga.*



Elaborado por: Autores

Para la validación del chasis se ha enfocado en el análisis mediante cargas fluctuantes, es decir, habrá momentos en el que la carga estará presente y otras en las que no actuarán, por lo tanto, esta reiteración continua es lo que se denomina ciclos. Bajo estos criterios se puede conocer lo que está sucediendo realmente en nuestro chasis, considerando incluso que se pueden implementar otros tipos de cargas.

Se ha obtenido un factor de 3,065, por lo tanto, se considera aceptable debido a que superan el valor mínimo de 2 en cargas combinadas además de a ver ingresado el factor  $K_f$  que nos ayuda determinar cuál es el valor que se pone como el umbral para el fallo y nos ayuda a calcular el factor por fatiga, este factor no permite un umbral de ciclos para que el chasis falle.

Esto se debe principalmente porque actúan otros factores que afectan al diseño, en este caso el tipo de material, la manufacturación, las condiciones de servicio, entre otros. Es por ello que mediante el software CAE se pudo delimitar estos parámetros.

Cabe mencionar que existen otros criterios como los costos, el peso, la disponibilidad en el mercado, entre otros factores, por lo que se ha tomado como prioridad al Aluminio 6063 T5.

### 3.5. Comprobación de Soldadura

Otro de los aspectos fundamentales que se deben analizar para una adecuada estructuración del chasis, es el procedimiento de soldadura, por lo tanto, para su verificación se utilizó el análisis por medio de líquidos penetrantes. Existen diversos métodos para poder aplicar líquidos penetrantes y estos pueden estar disponibles en forma de aerosol, brocha e incluso por inmersión y se lo ha realizado mediante la Norma ASTM-E-65-95 que es el método de prueba estándar para el examen de líquidos penetrantes. En este caso se han utilizado los que están dispuestos en aerosoles y son los siguientes:

1. Limpiador base solvente
2. Líquido penetrante
3. Agente revelador



Figura 13

*Paquete de aplicación de Líquido Penetrante.*

Se trata de una técnica que no implica un factor de riesgo para la estructura analizada y además los costos de implementación no son elevados [15], El análisis no destructivo

con Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar discontinuidades superficiales sobre casi todos los materiales no porosos (o con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc. ,característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación [16], por lo tanto, se realizó el siguiente procedimiento:

Se comienza a limpiar la zona que se desea realizar el análisis con el limpiador de base solvente, en este caso todos los cordones de soldadura que forman parte del chasis. Tomar en cuenta que el perfil cuenta con un revestimiento de protección, por lo tanto, deben ser limpiados adecuadamente. Posteriormente de aplicar se limpia con una toalla para que la zona se mantenga seca y se analice si se considera limpio o no la zona , si fuese el caso se podría limpiar las veces necesarias para que se obtenga el mejor resultado.



Figura 14

*Limpieza del Cordón para el Análisis.*

Se aplica el líquido penetrante, esto se lo ha realizado sobre todos los cordones de soldadura del chasis. Se debe dejar pasar un cierto tiempo para que el líquido interactúe con el material, en nuestro caso se lo aplicó para 10 minutos.

Una vez aplicado el líquido penetrante, debe ser retirado mediante el limpiador base solvente, para lo cual se debe realizar un procedimiento minucioso de limpieza, para que no se afecte las zonas donde se aplicó el líquido penetrante y además de que se debe considerar que la limpieza es la parte fundamental para que no exista alteraciones al momento de realizar el examen, ya que este método se analiza con examen visual.

Posteriormente el líquido penetrante debe ser limpiado del cordón de soldadura y se debe aplicar el agente revelador, tomando en cuenta que el envase debe ser correctamente agitado porque las partículas sólidas se concentran en la base, el tiempo



Figura 15

*Aplicación del Líquido Penetrante.*

de espera en este caso es de 15 minutos o al momento de que el agente revelador se haya secado y convertido en sólido.

El revelado consiste en la aplicación, sobre la pieza en ensayo, de una capa muy fina del polvo revelador. La función del revelador es la de absorber y llevar al penetrante, atrapado en las discontinuidades, hacia la superficie, aumentando así la visibilidad de las indicaciones.

La acción del revelador es una combinación de los efectos de disolución, absorción y adsorción.[17]

### **3.6. Verificación de Soldadura**

Una vez realizado el procedimiento adecuado para la aplicación de líquidos penetrantes, se procede a la verificación de la calidad de soldadura mediante la Norma API -1104. En el chasis se ha establecido el siguiente número de soldaduras.

Según la norma API-1104 se han establecido los siguientes defectos a tomar en cuenta





Figura 16

*Aplicación del Agente Revelador.*

Tabla 15

*Cantidad y Porcentaje de Soldaduras.*

Soldaduras	Total	Defectuosas
Cantidad	114	3
Porcentaje	100%	2,63%

Elaborado por: Autores

Tabla 16

*Criterios de aceptación según la norma API-1104.*

Criterios de aceptación según la norma API-1104	
Defecto	Criterio
Socavación	No debe tener forma de V Longitud 1/6 de la longitud total
Porosidad	Diámetro máximo de poro individual menor o igual a 1/16 de pulgada

Elaborado por: Autores Fuente: (Normas API, 2020)

Acorde a esto se han establecido 3 soldaduras que son las más notorias en el cual se ha determinado lo siguiente:

Tabla 17

*Evaluación de las Soldaduras Defectuosas.*

Soldadura Defectuosa	Tipo de defecto	Medición de defecto	de	Evaluación
Soldadura N° 01	Porosidad	1 mm		Aceptado
Soldadura N° 02	Socavación	2.5 mm		Aceptado
Soldadura N° 03	Porosidad	1.5 mm		Aceptado

Elaborado por: Autores



Figura 17

*Soldadura Defectuosa.*

### 3.7. Análisis de Resistividad

El software de diseño en 3D ayuda a diseñar mejores productos y más rápido, Cuando el diseñador tenga una idea para un producto excelente, contará con las herramientas para diseñarlo en menos tiempo y a un costo más bajo, además de permitirle realizar de forma rápida y sencilla los planos necesarios para su fabricación.[18]

Mediante esta prueba se comprobó la resistencia en el chasis, en este caso aplicando el peso del piloto, por lo que esta carga es la más representativa para verificar su funcionalidad.



Figura 18

*Análisis de Resistividad.*

Durante el proceso de manufactura intervienen muchos criterios que afectan a lo que se ha planteado inicialmente mediante software, es decir, la parte de construcción demanda mucho del producto final, entre ellos los perfiles mal cortados, los doblados mal elaborados, los malos cordones de soldadura, entre otros aspectos. Tomando en cuenta estas discrepancias, el proceso de elaboración ha sido desarrollada de manera precisa y correcta, de forma que al momento de realizar las pruebas de resistividad no ha sufrido algún tipo de eventualidades.

Falla de un elemento sometido a un estado de cargas es cualquier comportamiento que lo vuelve inadecuado para la función a que fue diseñado. Como clasificación general más simple de las fallas que tornan inadecuado para su uso a un elemento, se puede hablar de Fallas sin Fractura y Fallas con Fractura.[19]

La soldadura juega un factor fundamental en el proceso de manufactura ya que de este proceso depende la resistencia del chasis al momento de la utilización.[20]

Se pudo analizar que el chasis resiste con normalidad el peso del piloto, tomando en cuenta que tiene un perfil de 1,10mm de espesor, además de que su peso no sobre pasa los 20kg. Se puede observar que los laterales cumplen un rol fundamental además de ofrecer resistencia al chasis ya que, al adquirir la misma forma de la base y una altura mínima, le permite al piloto ingresar y salir con facilidad del prototipo.



## 4. Conclusiones

Los parámetros y criterios de diseño se determinaron para que el prototipo sea optimizado en cuestiones de peso, por lo tanto, esto nos permitió construir el chasis con un peso 15.8 kg, que puede soportar la carga de una persona promedio.

Esto se llevó a cabo gracias al modelado y aplicación del software CAD/CAE especializados en método de elementos finitos. Se tuvo énfasis con respecto a la forma que se diseñó, para que nos brinde las mejores prestaciones como la facilidad de acceso del piloto, protección en caso de una colisión, confort, visualización, entre otros. La deformación y los factores de seguridad en todos los análisis fueron satisfactorios y cumplen las expectativas planteadas, por lo tanto, es una estructura altamente resistente.

Se ha hecho uso de un análisis estadístico capaz de determinar el peso y la altura promedio de los estudiantes que forman parte de la carrera de ingeniería automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que sirvió para estipular el dimensionamiento del chasis.

El Chasis fue construido en aluminio 6063-T5 y soldadura TIG, el aluminio es metal muy ligero en peso, a pesar de esta particularidad, algunas de sus aleaciones tienen características mecánicas que exceden a los aceros dulces. Tiene una buena ductilidad a temperaturas bajo cero, alta resistencia a la corrosión y no es tóxico para la soldadura, el mejor proceso de soldadura para aluminio es soldadura TIG.

El Chasis fue soldado con soldadura especial tipo TIG, por su facilidad que ofrece al trabajar con este material. El aluminio ofreció una mayor accesibilidad en el mercado, a diferencia de otros materiales como la fibra de carbono que presenta ciertas eventualidades de adquisición. Cabe mencionar que las prestaciones mecánicas que nos brindó una vez finalizado el proceso de construcción superaron nuestras expectativas.

Dentro de los estudios previos revisados no se han realizado prueba de soldadura de ningún tipo por tal razón este estudio es el primero en realizar un análisis de soldadura, además de interpretar y validar el estudio aplicando una normativa que nos ayudó a determinar si la soldadura que se ha realizado es buena ya que es el elemento principal y la particularidad de la construcción del chasis.

## References

- [1] Energía y sociedad [Página principal en Internet]. Madrid: Anónimo; 2015 [Actualizada el 14 de marzo del 2019; 05 de octubre del 2022]. [aprox. 7 pantallas]. Disponible en: [https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/#:~:text=El%20coche%20el%C3%A9ctrico%](https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/#:~:text=El%20coche%20el%C3%A9ctrico%20)



20no%20s%C3%B3lo,la%20penetraci%C3%B3n%20de%20las%20energ%C3%ADas

- [2] Carrasco J. Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. PROSPECTIVA [Internet]. 2006;4(1):75-81. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251107012>
- [3] Carillo A. Métodos De La Investigación. Maratón de conferencia sobre investigación; 2015 septiembre 15-21; Texcoco. México: UAEM; 2015.
- [4] Morocho J, Rivera J. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO PARA LA COMPETENCIA ECO SHELL MARATHON. [Internet] 2020. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13825/1/65T00343.pdf>.
- [5] Albán W, Pazuña C. MODELO INFORMÁTICO DE CRITERIOS PONDERADOS DE EXPERTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS [Tesis magistral]. Sangolquí. ESPE. 2016.
- [6] Riba C. [Internet]. 1<sup>ra</sup> ed. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya; enero del 2018. [enero del 2018; 05 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] Blanco M. [Internet]. 1ra ed. Bogota: UCC; Mayo de 2018. [mayo del 2018; 21 de septiembre del 2022]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16606/1/2018.05.22%20Proyecto%20de%20grado%20BIM%20-%20MIGUEL%20BLANCO%20DIAZGRANADOS.pdf>
- [8] Kalpakjian S, Steven R. Introducción General. En: Sánchez G./ Figueroa U./ Trujano G. Manufactura, ingeniería y tecnología. Vol 1. 4<sup>ta</sup> ed.; México: Pearson Education; 2002. p. 1-32.
- [9] Hurtado J, Santana R, Padrón S, Scielo [internet] 2012 [25 de septiembre del 2022]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702012000100003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702012000100003)
- [10] Gómez J, Ureña A, Villauriz E, Manzanedo S, Barrera I. Revista de metalurgia [Internet] 2015 [28 de septiembre del 2022]. Disponible en: <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/753/765>
- [11] Vinuesa A, Gutiérrez N. Scielo [Internet] 2018 [29 de septiembre del 2022] Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422018000100188](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000100188)
- [12] Masiá Vañó J. Ejercicios de simulación del comportamiento mecánico de los materiales [En Línea]. Valencia: Editorial de la Universidad



- Politécnica de Valencia, 2013 [consultado 09 Oct 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/108991>
- [13] Beer F, Jhonston E, DeWolf J, Mazurek D. El concepto de esfuerzo. En: Toledo M, Rocha M, Zuñiga E. Mecánica de materiales. Vol 1. 9na Ed. Mexico. Educación; 2014. p. 2-38.
- [14] Besa González AJ. Diseño de máquinas [En Línea]. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2016 [consultado 02 Oct 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/57432>
- [15] Fombuenas V. Análisis de líquidos penetrantes. Técnicas no destructivas. 14 de octubre del 2015. Valencia. Girona.2015.
- [16] Echavarría R. Líquidos penetrantes. 1<sup>a</sup> ed. Comahue. Universidad de Comahue; enero del 2003. [21 de diciembre del 2015; septiembre 21 del 2022] Disponible en: [https://d1wqtxs1xzle7.cloudfront.net/57986744/LIQUIDOS\\_PENETRANTES\\_1-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1665282545&Signature=bedzI63ENggVtXe~gT3p4BjkibxD-GNBHO1gE3tpBb7eE4crfFHH5paDVgO-JOKcLUEP3hbiJezXlxGJniKC4jWd9CUs-p6hxpw...&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxs1xzle7.cloudfront.net/57986744/LIQUIDOS_PENETRANTES_1-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1665282545&Signature=bedzI63ENggVtXe~gT3p4BjkibxD-GNBHO1gE3tpBb7eE4crfFHH5paDVgO-JOKcLUEP3hbiJezXlxGJniKC4jWd9CUs-p6hxpw...&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- [17] Baldarrago B, Rumualdo P. INSPECCIÓN VISUAL Y LÍQUIDOS PENETRANTES EN UNIONES SOLDADAS [tesis doctoral]. Arequipa: UNSA; 2015.
- [18] Rodríguez Vidal C. Diseño mecánico con SolidWorks 2015 [En Línea]. Paracuellos de Jarama, Madrid: RA-MA Editorial, 2015 [consultado 01 Oct 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/106488>
- [19] Amé RM. Mecánica aplicada al diseño de los elementos de máquinas: temas básicos de resistencia de materiales aplicables al diseño de árboles y ejes [En Línea]. Buenos Aires, Argentina: Editorial Nobuko, 2012 [consultado 02 Oct 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/77898>
- [20] Cueto Martos J. Soldadura TIG de aluminio y aleaciones: UF1628 [En Línea]. Murcia: Cano Pina, 2017 [consultado 05 Oct 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/45037>