



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Construcción de un chasis tubular para un vehículo biplaza.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autores:

Freddy Leónidas Molina Ortiz

William Santiago Morocho Morán

Nombre del director:

Ing. Francisco Torres Msc.

CUENCA – ECUADOR

2022

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome sus consejos para ser una mejor persona, a mis hermanos y sobrinos por sus palabras y su compañía, a mi abuelita Dolores que aunque ya no se encuentre físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo me salga bien, a mis primos Carmita, Danny y Noelia quienes siempre fueron un apoyo incesante para lograr este objetivo.

Freddy Molina

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por brindarme la oportunidad de culminar esta etapa estudiantil y darme la salud para lograr esta meta propuesta, además de su infinito amor y bondad que nos regala cada día.

A mis padres y mi hermana les dedico esta meta cumplida que con su amor, esfuerzo y sacrificio me han apoyado incondicionalmente a pesar de las adversidades y han sido mi pilar fundamental para no rendirme en este proceso dándome su ejemplo de superación y que todo se puede con la ayuda de Dios.

William Morocho

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por darme la vida, gracias mi universidad por permitirme convertirme en profesional en lo que tanto me apasiona, de igual manera gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso de formación integral que deja como producto terminado excelentes profesionales.

Finalmente agradezco a toda aquella persona que de una u otra manera ha contribuido en la consecución de este objetivo.

Freddy Molina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a Dios, por permitirme culminar esta etapa y proceso tan importante en mi vida.

A mis padres y hermana, por creer en mí y ayudarme a cumplir esta meta. Así como también por sus consejos en los momentos que me sentía derrotado impulsándome a levantarme y continuar.

Un agradecimiento especial a Ing. Francisco Torres por sus conocimientos compartidos a lo largo de este proceso, como también a mis compañeros de Tesis que día y noche nos hemos apoyado para cumplir este sueño en común.

William Morocho

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
Introducción.....	1
Revisión de la literatura.....	2
a. Requerimientos normativos.....	3
b. Procesos de manufactura	3
c. Ensayos.....	8
Métodos y técnicas aplicados a los ensayos no destructivos.....	9
Materiales y métodos	9
a. Planificación.....	9
b. Ejecución	10
Análisis y resultados.....	13
Discusión y conclusiones	15
Referencias.....	16

CONSTRUCCIÓN UN CHASIS TUBULAR PARA UN VEHÍCULO BIPLAZA

RESUMEN

El chasis sostiene el peso de los sistemas vehiculares, además, soporta las cargas producidas durante el desplazamiento, brinda seguridad, y menores niveles de ruido o vibraciones. Por ello, en este estudio se construye un chasis vehicular mediante la aplicación de una metodología replicable para la fabricación en serie en vehículos eléctricos. Así, este estudio conforma un proyecto integrador donde se procura aportar a la transición de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos, mediante un trabajo desarrollado por la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. Los resultados indican una inversión de 144 horas de trabajo, con 1 980,81 dólares americanos, tras aplicarse: aserrado por disco, doblado en frío, soldadura MIG y ensayos por tintas no penetrantes. En conclusión, se demuestra la factibilidad para fabricar un chasis aplicando la disponibilidad tecnológica del medio, sin afectar la calidad de cada proceso y el principal resultado final: la resistencia estructural.

Palabras clave— chasis, manufactura, vehículo eléctrico, soldadura



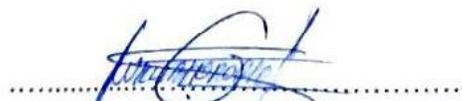
Ing. Francisco Torres Msc.
Director del Trabajo de Titulación



Ing. Robert Rockwood Msc.
Director de Escuela



Freddy Leónidas Molina Ortiz
Autor



William Santiago Morocho Morán
Autor

CONSTRUCTION OF A TUBULAR CHASSIS FOR A TWO-SEATER VEHICLE

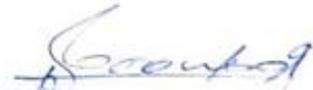
ABSTRACT

The chassis is considered the most important element of the vehicle, by supporting the weight of the other elements, it also supports the loads produced during travel and provides safety, lower noise levels and vibrations. Accordingly, this study describes the manufacture of a chassis for an electric vehicle, proposing four phases: planning, execution, tests, and final modifications. The manufacturing processes selected are: material preparation by cutting and for welding (fish mouths), bending, welding, and non- destructive testing. The results indicate an investment of 144 hours of work, with US\$1,980.81, after application: disc sawing, cold bending, MIG welding and tests for non-performing inks. In conclusion, the feasibility of manufacturing a chassis is demonstrated by applying the technological availability of the medium, without affecting the quality of each process and the main final result: structural resistance.

Keywords- chassis, manufacturing, electric vehicle, welding



Eng. Francisco Torres Msc.
Thesis Director

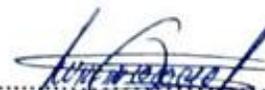


Eng. Robert Rockwood Msc.
School Director

Translated by:



Freddy Leónidas Molina Ortiz
Author



William Santiago Morocho Morán
Autho



Construcción un chasis tubular para un vehículo biplaza

Resumen

El chasis sostiene el peso de los sistemas vehiculares, además, soporta las cargas producidas durante el desplazamiento, brinda seguridad, y menores niveles de ruido y vibraciones. Por ello, en este estudio se construye un chasis vehicular mediante la aplicación de una metodología replicable para la fabricación en serie para vehículos eléctricos. Así, este estudio conforma un proyecto integrador donde se procura aportar a la transición de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos, mediante un trabajo desarrollado por la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. Los resultados indican una inversión de 144 horas de trabajo, con 1 980,81 dólares americanos, tras aplicarse: aserrado por disco, doblado en frío, soldadura MIG y ensayos por tintas no penetrantes. En conclusión, se demuestra la factibilidad para fabricar un chasis aplicando la disponibilidad tecnológica del medio, sin afectar la calidad de cada proceso y el principal resultado final: la resistencia estructural.

Palabras clave

Chasis, manufactura, vehículo eléctrico, soldadura

Introducción

El chasis es considerado el elemento más importante y significativo del vehículo, tiene como principal función fijar y sostener el peso de los demás elementos, además, debe soportar cargas estáticas y dinámicas producidas durante el desplazamiento, y mantener fijados: la carrocería, el tren de potencia, el motor, la transmisión, suspensión, frenos, dirección y otros componentes. Asimismo, el chasis también supone un componente de seguridad, donde complementariamente debe satisfacer bajos niveles de ruido y vibraciones (European Aluminium, 2011). Entre las funciones del chasis aparecen: transportar todas las cargas estacionarias adjuntas y los pasajeros, resistir la vibración torsional causada por el movimiento del vehículo, resistir la fuerza centrífuga causada por las curvas del vehículo, controlar la vibración causada por el funcionamiento del vehículo y resistir los esfuerzos de flexión debido a la subida y bajada de la parte delantera y trasera de los ejes (Diary, 2020).

Cada vehículo nuevo está destinado a un uso específico para un segmento de mercado y clase de comprador, y debe por lo tanto, cumplir o superar los requisitos estándar para características y dimensiones dentro de este segmento. Considerando este contexto, se tienen el cumplimiento de funciones de seguridad pasiva y activa, ergonomía, facilidad de operación, propiedades aerodinámicas, dinámica de conducción, rendimiento de conducción dinámica, potencia del motor, compatibilidad de diseño (modularidad), costos fijos, reciclaje, estilismo, confiabilidad, precio y costo de operación (Heibing y Ersoy, 2011). Todos estos parámetros son establecidos en el diseño y deben guardar concordancia con el proceso de manufactura, donde el desarrollo de un chasis funcional debe estar acorde con la adopción de fuentes energéticas limpias, donde los vehículos eléctricos (VE) son la principal alternativa para el aprovechamiento de fuentes renovables (Frias y Román, 2019).

Por ello, este estudio pretende obtener un chasis vehicular mediante la aplicación de una metodología que posteriormente sea replicable para la fabricación en serie en vehículos eléctricos a nivel país. Así, dentro de un proyecto integrador donde se procura aportar a la transición de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos, a través de un trabajo desarrollado por la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. En consecuencia, para realizar la construcción de un chasis tubular es necesario seguir una serie de procesos de fabricación donde se garanticen procesos normativos y técnicos (Rajpal et al., 2015) basados en las fases: trazado, corte, doblado, recubrimiento y ensayos. Con esto, se pretende seguir instrucciones detalladas en cada operación para preparar los bordes de los tubos para la suelda, y realizar este procedimiento mediante una técnica de ensamble basada en *fixtures*.

En cuanto al tipo de suelda, se aplicarán procesos de gas inerte basados en soldadura MIG y TIG. Por otra parte, la verificación de la calidad de soldadura se realizará mediante ensayos con tinta penetrante que comprueben la fiabilidad de las uniones.

Revisión de la literatura

Como se puede evidenciar, en el Ecuador no existen empresas enfocadas en la manufactura de componentes vehiculares; sin embargo, aparecen industrias dedicadas al ensamblaje de los vehículos como son: General Motors Ecuador (Chevrolet), Ciauto (Great Wall, Zotye) y Aymesa (Kia, Hyundai, Volkswagen y Jac) (AEADE, 2022). A pesar de ello, se dice que el material más utilizado para la construcción de un chasis es acero al carbono, aunque aparecen aleaciones de aluminio por su ligereza. En cuanto a las secciones, se incorporan perfiles en I, C y U. Las operaciones más comunes son plegado, prensado y enrolado para incorporar varios miembros del chasis. El troquelado y el doblado en prensa son etapas importantes en la producción de chasis (PressMark, 2016).

Posterior a este proceso se aplica la soldadura, donde se precisa rigidez, uniformidad y alta resistencia. En concordancia, los tipos más comunes son TIG, MIG e inclusive una combinación entre ambos. Finalmente, un tratamiento superficial evita la corrosión, el daño y el desgaste, mejorando la dureza (PressMark, 2016). Con relación a esto, para comprobar la calidad de la soldadura, existen recursos como la norma AWS D8.8 que describe la geometría de la soldadura y los criterios de mano de obra esenciales para garantizar la calidad del proceso en automóviles y camiones ligeros (AWS, 1997). En tanto, para la soldadura de estructuras existe el reglamento RTE INEN 040: Soldadura y estructuras de acero, donde se establece la verificación de los planos constructivos, las especificaciones de las características del material empleado, la verificación de los procedimientos y de la calificación de los soldadores, y la aplicación de ensayos no destructivos mediante inspección visual y tintes penetrantes (INEN, 2009).

La soldadura por puntos manual y automatizada une superficies metálicas en contacto con calores extremos generados por corriente eléctrica; sin embargo, resulta ineficaz para integrar piezas no metálicas, por lo que las nuevas tendencias incorporan adhesivos, remaches/remachado auto perforante (SPR) para la fijación mecánica de alta velocidad para unir materiales de láminas por puntos, generalmente aceros y aleaciones de aluminio, empernado, soldadura por puntos láser (LSW), y tornillos de perforación de flujo (FDS) donde se combinan las propiedades del taladrado por fricción y la formación de roscas (MentorWorks, 2021).

Salazar (2018) da a conocer que el procedimiento más adecuado en el proceso de doblado es la flexión rotativa, concluyendo además que en la soldadura, la calidad es proporcional a la cantidad de argón aplicada, dentro de un proceso MIG. En tanto, Gómez (2015) determinó que la herramienta más eficiente para el corte es una sierra circular con carburo de tungsteno especial, la cual satisface un corte rápido del acero (Gómez, 2015). En lo que se refiere a los procesos de suelda, se enfatiza que la combinación de soldadura MIG/MAG ofrece mejores resultados, además un hilo continuo de suelda evita las deformaciones en los elementos y no produce escoria ni oxidación (Núñez, 2017). Para las tolerancias en dimensiones lineales se tiene que los métodos más usados son el sistema de agujero único y el sistema de eje único, con 18 tipos de calidades de tolerancias en donde cada una de ellas corresponde a una de las denominadas tolerancias fundamentales (INEN 286-1, 2013).

Respecto con los ensayos de soldadura, Álvarez (2018) considera dos tipos de ensayos para soldadura: destructivos, usados para pruebas de tracción en donde el material de aporte recomendado es el ER80S-D2; y ensayos no destructivos, los cuales utilizan tintas penetrantes para determinar pequeñas porosidades y fisuras.

a. Requerimientos normativos

Este proceso considera los diversos parámetros técnicos establecidos para que el vehículo a construirse pueda circular, sea en vías convencionales, circuitos o en ambos casos. Así, el constructor debe tener presente el ancho de vía, largo, alto, número de ejes, peso bruto vehicular y otras condiciones establecidas en las leyes o reglamentos de circulación (Cuellar et al., 2018). Asimismo, los reglamentos establecen condiciones geométricas, estructurales, dinámicas o de seguridad, todos estos parámetros que deben ser intrínsecos en el diseño.

b. Procesos de manufactura

La selección de los procesos de manufactura debe estar acorde a la optimización de costos y tiempos, donde la calidad final no se vea afectada o se afecte lo menos posible. De este modo, Fernández (2014) destaca cuatro etapas en el proceso de manufactura: planificación, fabricación de los componentes, ensamblaje y modificaciones finales, tal como lo indica la figura 1.

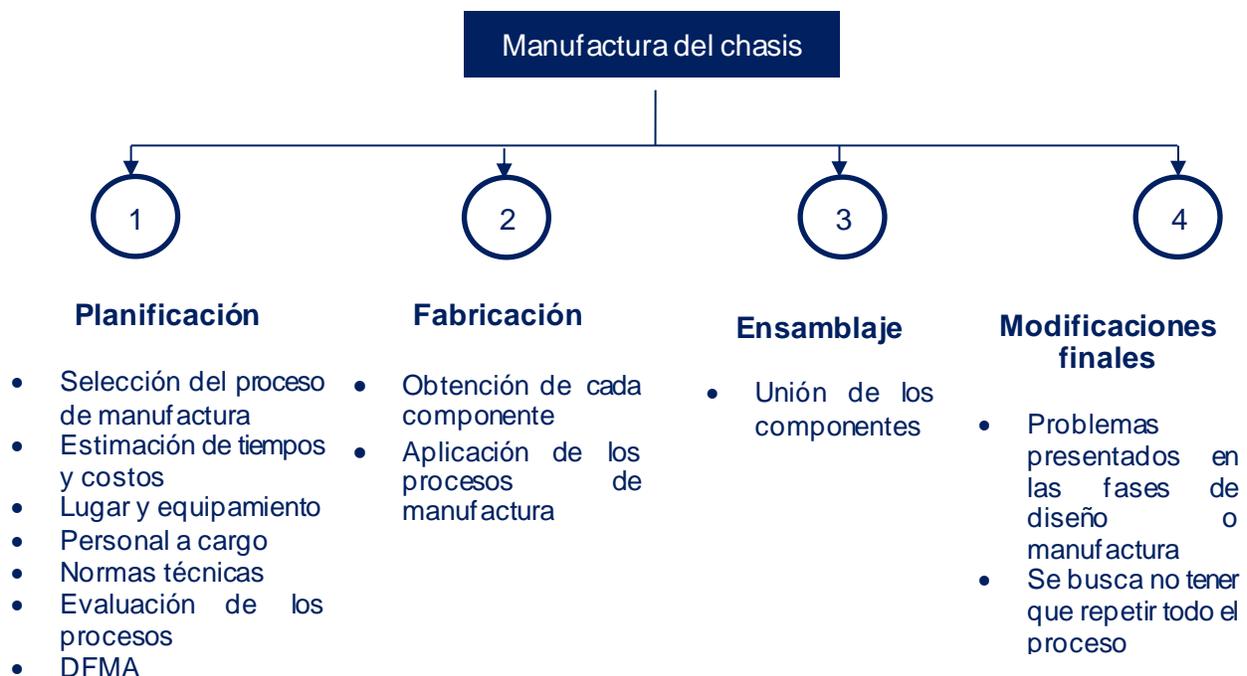


Figura 1
Proceso de fabricación

Fuente: (Fernández, 2014)

En complemento, la debida planeación, configuración y control de los procesos productivos involucrados en la etapa de manufactura se conoce como diseño para la manufactura (DFM), o también visualizado como el pensamiento, la filosofía o la mentalidad del diseño de producción orientado a producir piezas y productos con mayor facilidad y de forma económica (Araque y Vélez, 2016). También, se tienen los diseños para la manufactura y ensamble (DFMA), derivados de la integración e interrelación de dos metodologías principales: Los diseños para la manufactura (DFM) y los diseños para el ensamble (DFA). Con relación a esto, la figura 2 muestra un ejemplo para la implementación del DFMA, donde se parte del diseño inicial, se trata de simplificar la estructura del producto y seleccionar materiales y procesos económicos (DFA); determinar detalles en el diseño que incurran a menores costos de producción, hasta obtener el prototipo final.

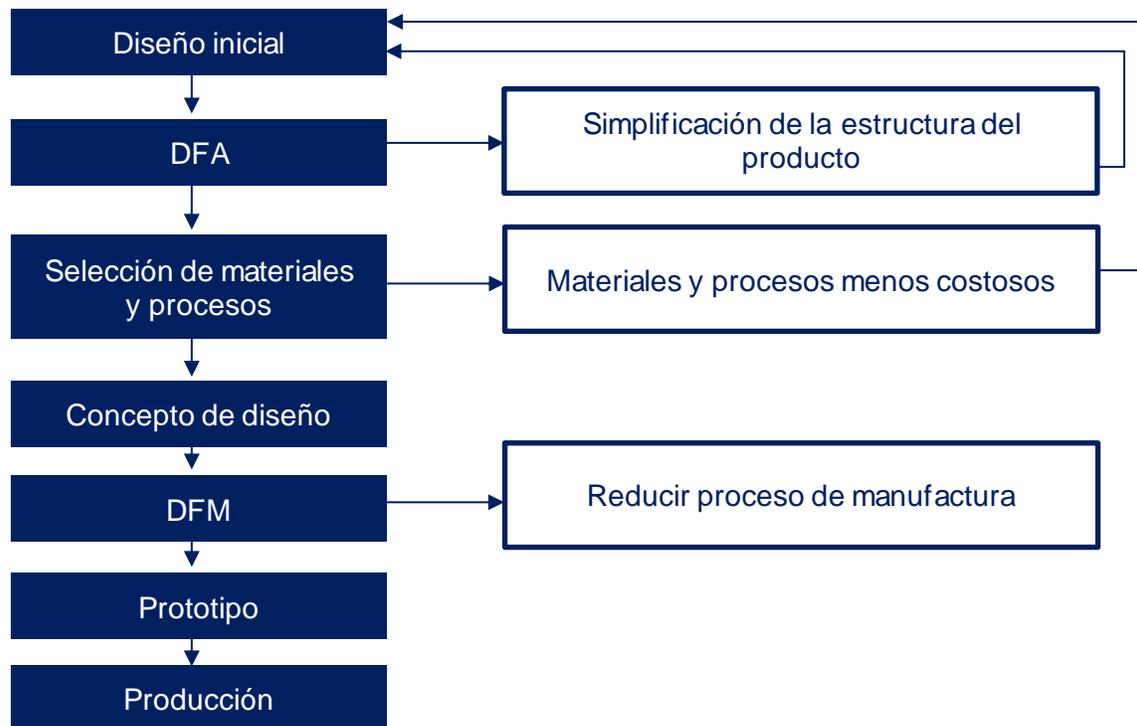


Figura 2
Ejemplo de aplicación de proceso DFMA

Fuente: (Araque y Vélez, 2016)

Preparación de los tubos

Cuellar et al. (2018) indican que el proceso de manufactura inicia con la preparación del material, es decir, someterlo a ciertos procesos previos de mecanizado que permitan ejecutar los procesos principales como el doblado o la soldadura. Por ello, se parte de: corte del material y preparación de los bordes. El corte del material consiste en generar un listado de cortes según las dimensiones de diseño, preservándose la configuración de cada unión. En primera instancia, el corte abarca el uso de cintas o reglas dentadas para arrancar virutas de la materia prima, donde se produce un corte del material por fricción. En cada sierra se determina la cantidad de dientes y el ángulo dependiendo del material a cortar, debiéndose analizar la dureza de la materia prima para seleccionar una adecuada hoja de sierra (Bertol, 2017; Proaño, 2018).

En sí, la forma de paso de los dientes de una hoja de corte permitirá su aplicación según el tipo de material. Como lo expone la figura 3, un paso constante es aplicable en materiales macizos, mientras que un paso variable se ajusta a los materiales perforados.



Figura 3
Paso de los dientes de una hoja de corte. a.) de paso constante, b.) de paso variable

Fuente: (Araque y Vélez, 2016)

Posteriormente, al evidenciar que las operaciones de mecanizado más habituales en el trabajo con secciones tubulares son: cambio de dirección, derivaciones o entronques, cambio de diámetro, reducciones o ampliaciones y transformación de figura geométrica; usualmente se emplean inserciones

llamadas *boca de pescado* (Martínez et al., 2019). Este procedimiento es aplicable en diámetros iguales o distintos, para lo que se debe considerar las etapas: a) medición de los tubos a ensamblar, b) trazo de círculos y líneas para obtener distancias para la plantilla, c) ejecución de plantilla, d) trazo de plantilla en tubo injerto, e) corte y desbaste de tubo injerto trazado y f) desbaste de sobrantes (figura 4).

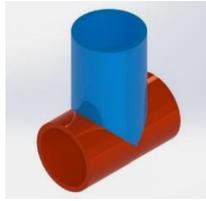


Figura 4
Inserción o boca de pescado

Fuente: (Martínez et al., 2019).

Doblado

También conocido como rolado, debe partir de la determinación del radio y longitud de la pieza desplegada. Con esta consideración, se busca deformar el material plásticamente en frío o en caliente para obtener una determinada forma, proporcionando un grado de rigidez (Chávez, 2016). Los principales procesos son: esturado, arrastre y compresión.

Es común que las fuerzas aplicadas en el doblado generen deformaciones no deseadas, debido a tensiones en la pared externa y compresión en la pared interna en la zona de la curva. En este sentido, la figura 5 muestra los radios mínimos de doblado R . Cuando se utiliza mandril el radio de doblado es 1,5 veces el diámetro D , y cuando no se utiliza mandril, es 3 veces el diámetro, todo considerándose un espesor t (Chávez, 2016; Cumbal y España, 2016).

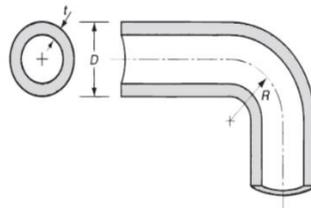


Figura 5
Condiciones de doblado

Fuente: (Chávez, 2016)

Fixtures

Son un dispositivo de sujeción, posicionamiento, localización y/o soporte, ya sea al inicio, durante y/o al final de una operación de ensamble, maquinado, soldadura, inspección o algún otro proceso industrial. Además, consiste en un conjunto de piezas individuales que forman subensambles denominados por la función que realizan. De este modo, en cada proceso de producción donde se requiere soldadura o soldadura robótica, los accesorios (*fixtures*) de soldadura precisos y de alta calidad determinan la calidad del producto final. Se utiliza un dispositivo de soldadura para colocar las piezas del chasis para soldar (Redondo, 2017 en Álvarez, 2018), figura 6).



Figura 6
Fixtures en un chasis monocasco

Fuente: (Redondo, 2017)

Para la construcción de chasis, los fixtures son diseñados empleando la estructura tubular como matriz logrando así una mayor exactitud en el proceso de construcción; además, se considera la facilidad de armado y remoción del sistema. La construcción de fixtures debe ser de gran precisión por lo que es necesario el empleo de máquinas CNC.

Soldadura

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas mediante la aplicación conveniente de calor y/o presión. Muchos procesos de soldadura se obtienen solamente por calor, sin aplicar presión; otros mediante una combinación de calor y presión; y otros más, únicamente por presión, sin suministrar calor externo. En algunos procesos de soldadura se agrega un material de relleno para facilitar la fusión. El ensamblaje de partes que se unen mediante soldadura se denomina ensamblaje soldado (Kitani et al., 2019).

Las uniones de tubos circulares de chasis se pueden realizar mediante soldadura de ángulo si la relación entre los diámetros de las secciones a unir no excede 0,33 y si la separación a soldar no es mayor de 3mm. Para relaciones mayores la soldadura puede cambiar uniformemente a lo largo de la curva de la unión. Para obtener rigidez, uniformidad y alta resistencia usualmente son empleadas las variantes TIG, MIG o una combinación de ambas (ITEA, 2016).

Kitani et al. (2019) dan a conocer que las tecnologías de soldadura de chasis deben promover altos estándares de resistencia a la fatiga y la corrosión, sin prescindir de una alta eficiencia en el proceso de producción. En este contexto, según la figura 7 analizan tres tipos de soldadura: arco protegido bajo en CO₂, plasma e híbrida por arco láser; concluyendo que el primer tipo de soldadura permite aplanar los bordes y reducir la generación de escoria, disminuyendo la escoria y la fatiga de la fusión. En tanto, la soldadura por plasma permite con facilidad aplanar la forma de la punta de soldadura con filete traslapado, proporcionando una amplia resistencia a la fatiga. Por otro lado, la soldadura híbrida por arco láser provee mayor velocidad y eficiencia, con alta precisión y amplia adaptabilidad en piezas con estructuras de sección transversal cerrada.

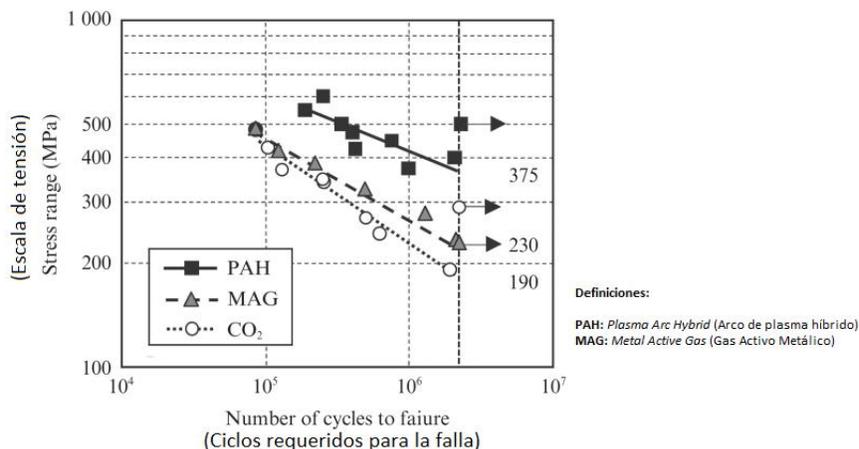


Figura 7
Resultados de fatiga para juntas soldadas según varios tipos de soldadura
 Fuente: (Kitani et al., 2019)

Recubrimiento

Básicamente, el proceso de pintura provee no sólo condiciones estéticas, sino también resistencia a la corrosión y resistencia a la intemperie (irradiación solar, humedad y temperatura). De este modo, la pintura ocupa el 50 % del espacio de una planta de fabricación de vehículos, el 60 % del costo de inversión y el 70 - 80 % de los energéticos. En el caso del chasis, los componentes están catalogados dentro de procesos *underhood/underbody* (bajo capó/ bajo cuerpo), donde se deben cumplir ensayos de validación anticorrosivos y de resistencia a químicos (aceite, anticongelante, desengrasantes, ácidos, diésel, entre otros) (Salinas, 2021). La figura 8 indica los espesores de las capas de recubrimientos en chasis, sin exposición solar y con exposición solar.

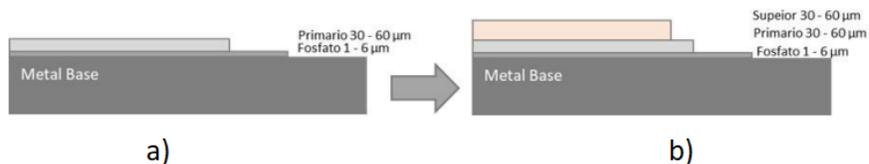


Figura 8
a) Recubrimiento en chasis sin exposición solar, b) recubrimiento en chasis con exposición solar

Fuente: (Salinas, 2021)

En complemento, existen estándares específicos como del fabricante Scania (2021), donde recomienda utilizar una pintura de dos componentes a base de acrílico o poliuretano al pintar sin imprimación. Desde el ámbito normativo, puede encontrarse por ejemplo, la norma AUMGTY 001 (Gobierno de Australia, 2021), la que tiene por objeto dar directrices para la preparación y aplicación de pintura en chasis y paneles de vehículos. En el caso ecuatoriano, aparece la normativa INEN como: requisitos para pinturas, fondos nitrocelulósicos de uso automotriz (INEN 2286, 2001), reglamento técnico ecuatoriano para pinturas (RTE INEN 061, 2012), o requisitos de lacas acrílicas para repintado de vehículos (INEN 2281, 2001).

c. Ensayos

Para el doblado

Los principales ensayos de doblado para metales están descritos en la norma ISO 7438: Materiales metálicos: ensayo de doblado, aunque para tuberías se precisa el ensayo de la norma ISO 8491: Materiales metálicos: sección tubular: ensayo de doblado. En concordancia, en Ecuador existe la norma INEN 110: Ensayo de doblado para el acero, mientras la norma INEN 134: Ensayos de doblado para tubos de acero, establece el procedimiento para aquellos de sección circular. De manera general, el ensayo es realizado a temperatura ambiente entre 10° y 35°C, y debe satisfacer las dimensiones de la tabla 1.

Tabla 1
Dimensiones mínimas para curvado a 90°.
Fuente: (INEN 134, 2009)

Diámetro nominal del tubo	Radio corto (RC)			Radio largo (RL)		
	Radio Medio (RM) mm	Desarrollo de la curva del tubo (L) Mm	Altura de la curva del tubo (P) mm	Radio Medio (RM) mm	Desarrollo de la curva del tubo (L) mm	Altura de la curva del tubo (P) mm
3/8DN10	34	47	40	-	-	-
1/2DN13	41	50	46	-	-	-
3/4DN20	54	82	68	-	-	-
1DN25	67	103	88	119	175	135
1 1/4DN32 5	82	145	115	145	215	165
1 1/2DN40	108	177	145	180	275	204
2DN50	140	200	170	220	320	250
2 1/2DN65	190	290	233	318	475	355

Para la soldadura

Existen varios ensayos para comprobar la calidad de la soldadura, teniendo como principal referencia la normativa ASME (*American Society of Mechanical Engineers* o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), donde se han dividido 12 secciones para el diseño, construcción, inspección y pruebas (Izurieta, 2017). De manera general, los ensayos no destructivos son los más empleados al optimizar costos y tiempos, además de garantizar la calidad del proceso mediante la evaluación de propiedades físicas y químicas; sin perturbar las propiedades de los materiales.

A pesar de esto, requieren de personal capacitado, procedimientos de evaluación certificados y ciertas limitaciones en campos muertos o penumbras (zonas cercanas a la superficie). La figura 9 resume los principales métodos y técnicas aplicables para este proceso.



Figura 9
Métodos y técnicas aplicados a los ensayos no destructivos
 Fuente: (Izurietta, 2017; Ashraf, 2002)

Materiales y métodos

La construcción del chasis para un vehículo eléctrico plantea la secuencia de procesos detallada en el diagrama de la figura 10, teniendo en cuenta la planificación, ejecución de los procesos, ensayos y modificaciones finales.

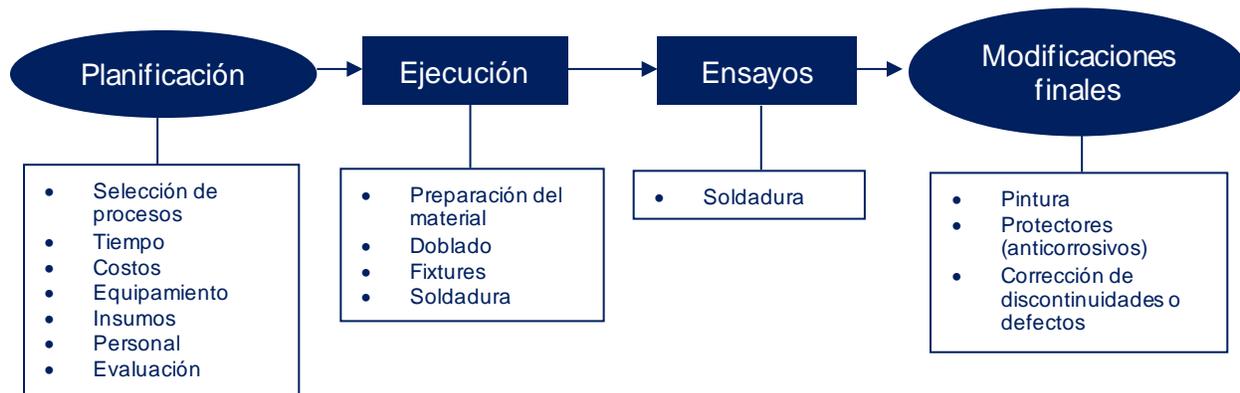


Figura 10
Metodología para la manufactura

a. Planificación

Con base en el estudio de Lapo y Serrano (2022), un estudio complementario a este; donde se procedió a seleccionar: corte de tubos por aserrado, creación de bocas de pescado para las uniones, doblado en frío, fabricación de fixtures en madera, soldadura por arco eléctrico, recubrimiento por pintura electrostática y ensayos para soldadura a través de líquidos penetrantes. En complemento, dentro de cada etapa fueron determinados tiempos, costos, equipamiento, personal y métodos de evaluación de los procesos o una normativa técnica relacionada, tratando de proveer una alta calidad a cada proceso.

b. Ejecución

Preparación del material

Primero, se requirió del aserrado por disco para el corte de las secciones tubulares, sean largueros, travesaños, refuerzos, bases de los sistemas mecánicos y componentes del habitáculo. Segundo, los filos fueron pulidos mediante esmeril. Tercero, se generaron plantillas impresas a escala 1:1 de cada elemento, donde debía marcarse en la impresión la curvatura del corte para dar forma a la boca de pescado. Dicha impresión se pegaba al tubo para guiar el corte (figura 11).



① Corte



② Pulido



③ Boca de pescado

Figura 11
Proceso de preparación del material

Doblado

El doblado fue aplicado para seis tubos, de los cuales cuatro constituyeron largueros, y dos refuerzos para seguridad de los ocupantes. El proceso fue mediante rolado en frío, según la norma INEN 134, donde para el doblado de los largueros se usa básicamente el mandril de doblado y el dispositivo de aplicación de la carga. Mientras tanto, el doblado en “U” o a 180° (figura 12), se basó en la tabla respectiva de la misma norma INEN, donde constan las dimensiones mínimas para el doblado.



Figura 12
Refuerzos en la parte posterior de la zona del piloto

Fixtures

A través de un software CAD, se procedió a diseñar 22 elementos, los cuales permitirían fijar y mantener la precisión en la soldadura (figura 13). El diseño debía ajustarse a los diámetros de los tubos para un correcto ajuste, generándose cerca de 50 alojamientos (figura 14). Posteriormente, cada fixture fue elaborado en madera aglomerada (MDF), mediante corte láser.

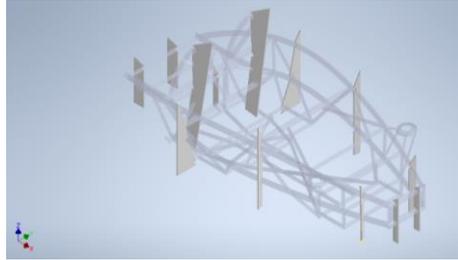


Figura 13
Diseño de los fixtures

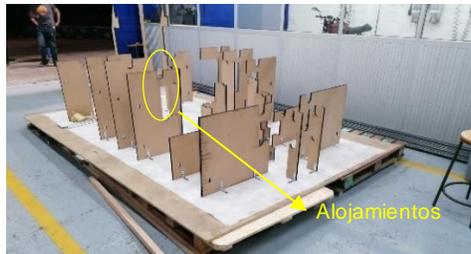


Figura 14
Disposición de los fixtures

Soldadura

Con los elementos dispuestos en los *fixtures*, la soldadura fue el siguiente proceso, donde se usaron electrodos ER70S-6, aplicables a suelta por MIG (figura 15). En consecuencia, el material base fue acero A36. Las propiedades mecánicas del material base como el de aporte se detallan en la tabla 2, teniéndose como lineamiento la normativa AWS D8: *Specification for Automotive Weld Quality*, o especificaciones para la calidad de soldadura automotriz.

Tabla 2
Propiedades de los materiales de base y aporte

Material	Tipo	Esfuerzo a la fluencia (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Dureza (HBW)
Base	Acero A36	250	200	119-162
Aporte	ER70 S-6	415	-	-



Figura 15
Proceso de soldadura

c. Ensayos

Soldadura

Los ensayos de soldadura emplearon una técnica no destructiva basada en líquidos penetrantes (tabla 3). Para tal efecto, se requirió de tres compuestos, donde el primer compuesto según la figura 16 es un penetrante (R-1A NT), el segundo es un revelador (R-1S NT) y el tercero es un removedor (R-1M NT). Este proceso fue aplicado en todas las uniones, para definir imperfecciones en la calidad de la soldadura. Las normas relacionadas con esto proceso son ISO 3452: *Non-destructive testing - Penetrant testing*, o Ensayos no destructivos – prueba por penetrantes, *aunque también se presenta la norma ASTM E 1417: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing* (Práctica para Pruebas de Líquidos Penetrantes) y ASME BPV Section V Art.6: *Liquid Penetrant Examination* (Examen de líquidos penetrantes). Consecuentemente, las características de cada líquido se exponen a continuación.

Tabla 3

Propiedades de los materiales de base y aporte

Líquido	Característica 1	Característica 2
1	Penetrante	Color rojo
2	Revelador	Color amarillo
3	Removedor	Color celeste



Figura 16
Kit para el ensayo

Modificaciones finales

Una vez realizados los ensayos no destructivos, esta etapa consistió en realizar correcciones develadas durante la etapa previa de ensayos, o aquellas identificadas en otros procesos. También, esta etapa contempla la fase de pintura de la estructura y colocación de protectores superficiales (anticorrosivos, figura 17).



Figura 17
Discontinuidad en el cordón de soldadura

Análisis y resultados

Una vez aplicadas las cuatro etapas antes descritas para el proceso de manufactura de un chasis, se obtiene que se requirió un total de 144 horas de trabajo en los procesos de preparación del material, doblado, soldadura y ensayos. Consecuentemente, se invirtió 1980, 81 dólares americanos, con equipos de trabajo hasta de ocho estudiantes (tabla 4).

Tabla 4
Propiedades de los materiales de base y aporte

Proceso	Tiempo (horas)	Costo (\$)	Personal (# estudiantes)
Corte de los tubos	6	62,5	8
Boca de pescado	16	377,68	8
Doblado	48	336,88	8
Fixtures	20	315,6	2
Soldadura	50	808,15	8
Ensayos	4	80	2

Por otro lado, el proceso de preparación de los tubos correspondió a dos fases: corte y boca de pescado. El proceso de corte fue uno de los más baratos y con menor tiempo de ejecución, mientras que la ejecución de las bocas de pescado si bien precisó menos horas de trabajo, fue el segundo más costoso, en especial al requerir geometrías complejas para unir los elementos (tabla5).

Tabla 5
Características del proceso de preparación del material

Proceso	Equipamiento	Insumos	Normativa	Interno/externo
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Ingleteadora • Plóter para impresión de planos • Mandril 	<ul style="list-style-type: none"> • Disco de desbaste (4 1/2 pulg.* 1/2 pulg.) • Disco laminado de pulir • Disco de corte 14 pulg. • Disco <i>flap</i> • Tubo de 2 pulg.x 1,5mm (6m) • Tubo de 1 1/2 pulg. x 2mm (6m) • Tubo de 1 pulg. x 2mm (6m) • Entenalla • Playo de presión 	-	Interno
Boca de pescado	<ul style="list-style-type: none"> • Amoladora • Taladro 	<ul style="list-style-type: none"> • Playo • Taladrina • Brocha • Sacabocados de 1 pulg. , 1 1/2 pulg., 2 pulg. • Taladro de bajas rpm • Máquina para bocas de pescados • Espigas 7/16 pulg. para hierro 	-	Interno

Nota. Este proceso requiere de equipo de protección personal (EPP): botas con punta de acero, gafas

En consecuencia, el proceso que más tiempo requirió fue el de soldadura (tabla 6), dado que se requiere una alta precisión para garantizar la calidad del cordón, el dimensionamiento y el acabado. Además, este proceso requiere de la elaboración previa de los *fixtures* para lograr alta precisión, así como depende de la destreza del operario; por lo que factores como la capacitación y el desempeño técnico son preponderantes. Igualmente, este proceso es el más costoso, porque provee mejores ventajas en cuanto a la reducción de escoria, una mayor continuidad, baja generación de gases residuales y una mayor tasa de depósito; lo que deriva en menores tiempos de mano de obra y una mayor calidad en el acabado.

Tabla 6
Características del proceso de soldadura

Proceso	Equipamiento	Insumos	Normativa	Interno/externo
Fixtures	<ul style="list-style-type: none"> Máquina de corte láser Software CAD 	<ul style="list-style-type: none"> 4 planchas MDF (1,83x2,44 m, e=15 mm) 8 pallets de madera Taladro 	-	Interno
Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de suelda MIG Amoladora Disco de desbaste y corte 	<ul style="list-style-type: none"> Máquina de suelda MIG, Playo Escuadras magnéticas Escuadra falsa Goniómetro Nivel Flexómetro 	AWS D8.8	Interno

Nota. Este proceso requiere de equipo de protección personal (EPP): botas con punta de acero, gafas de protección, guantes, casco para soldar y mandil

En el mismo contexto, el segundo proceso que mayor inversión de tiempo requirió fue el doblado, esto teniendo presente que se realizó de manera externa. En consecuencia, a más del costo del proceso, se suma la logística para el transporte del producto desde el centro de producción (Universidad del Azuay), lo que implica recurso tiempo y costo (tabla 7).

Tabla 7
Características del proceso de doblado

Proceso	Equipamiento	Insumos	Normativa	Interno/externo
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> Roladora 	<ul style="list-style-type: none"> Tubo de 2 pulg. (e=1,5mm) para la estructura Tubo de 2 pulg. (e=2mm) para las cabeceras 	NTE INEN 134	Externo

Nota. Este proceso requiere de equipo de protección personal (EPP): botas con punta de acero, gafas de protección, guantes, casco para soldar y mandil

Finalmente, el método de ensayo (tabla 8) se basó en el uso de tintas penetrantes, mediante tres líquidos aplicados de manera individual consecutivamente. Este proceso fue el que menos tiempo requirió, aunque es uno de las más importantes, dado que corrobora la calidad de la unión soldada, repercutiendo en la resistencia estructural bajo condiciones dinámicas de operación.

Tabla 8
Características del proceso de ensayos

Proceso	Equipamiento	Insumos	Normativa	Interno/externo
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> Kit de tintas penetrantes 	<ul style="list-style-type: none"> Líquido limpiador Tinta penetrante Tinta reveladora Guaípe de hilo Disolvente 	ISO 3452	Externo

Nota. Este proceso requiere de equipo de protección personal (EPP): botas con punta de acero, gafas de protección, guantes, casco para soldar y mandil

Discusión y conclusiones

El proceso de manufactura de un chasis debe garantizar los parámetros de diseño previamente realizados por los equipos de ingeniería; es decir, debe proveer resistencia estructural ante las condiciones dinámicas de operación. De esta manera, si bien en la fase de diseño se establecen las propiedades del material o los tipos de unión del chasis, en la construcción intervienen factores complementarios como una correcta selección de los procesos o la destreza del operador que los realiza. En este sentido, es necesario considerar que el vehículo a construir estará destinado a un uso específico, por lo que debe cumplir o superar los requisitos estándar. Por ello, una consideración fundamental es la compatibilidad de diseño (modularidad), así como los costos de operación sin descuidar la calidad.

Ante esto, el presente estudio distinguió algunas premisas normativas que sirvieron de guía para mejorar la calidad de los procesos y establecer parámetros de ejecución. Específicamente, se consideró normativa para: doblado (NTE INEN 134), soldadura (AWS D8.8) y ensayos de soldadura (ISO 3452). en los procesos de manufactura deben garantizarse procesos normativos y técnicos. la tecnología para diseño de moldes de corte, selección de materiales de moldes y de procesamiento, ha tenido notables mejoras; en donde los defectos detectados se deben a falta de tecnología.

De esto se desprende la Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing*, un proceso rápido, con amplia flexibilidad; consistente en la adición del material capa por capa. el presente estudio aplicó DFM para simplificar los procedimientos de manufactura, con el objetivo de:

- Maximizar de los atributos de diseño y rendimiento
- Maximizar del espacio disponible para pasajeros, equipaje y componentes
- Minimizar el peso de la estructura de la carrocería
- Minimizar la inversión inicial y los costos de producción

En consecuencia, fueron establecidos cuatro procesos de manufactura: preparación del material, doblado, soldadura y ensayos; según una metodología que propuso cuatro etapas: planificación, ejecución, ensayos y modificaciones finales. En tal virtud, la etapa de planificación priorizó la disponibilidad del equipamiento a nivel local para la ejecución, en relación básicamente con el costo. Por ello, el primer proceso consistente en preparación del material fue el más sencillo, dado que el corte se basó en un marcado por punzón y aserrado por disco, otorgando precisión y menor tiempo. A pesar de esto, la fase más complicada de este proceso fue la definición de las bocas de pescado, dado que las plantillas en papel debían ajustarse a la forma del tubo, con geometrías curvadas de mediana complejidad.

Mientras tanto, el proceso de doblado empleó doblado en frío para no inferir con las propiedades químico-mecánicas del material, al someterse a variación de temperaturas o procesos de enfriamiento que podrían alterar estas condiciones. Para el proceso de soldadura, el desarrollo de *fixtures* genera un montaje seguro, originando una mayor exactitud, precisión, confiabilidad, e intercambiabilidad en las piezas acabadas. Con la misma importancia, reduce el tiempo de trabajo al permitir una configuración rápida. En definitiva, reducen la complejidad de un proceso, permitiendo que trabajadores no calificados puedan realizar la soldadura, a más de reducir los costos de mano de obra, puesto que un operador está en capacidad de realizar dicho procedimiento

Finalmente, el proceso de ensayos se enfocó en el análisis de la calidad de la soldadura a través de un método no destructivo (tintas penetrantes), haciendo que se optimicen costos y tiempos; sin perturbar las propiedades de los materiales. De esta manera, fueron usados tres líquidos con diferente funcionalidad, en donde se detectaron imperfecciones puntuales, especialmente para ciertas porosidades y agrietamientos, aunque la fusión del material de aporte es satisfactoria. Lo dicho está relacionado con las ventajas del proceso MIG, especialmente cuando la velocidad de avance disminuye las áreas de afectación por calor, haciendo que el tamaño de grano del material tenga menor tendencia a incrementar, y se reduzcan las deformaciones.

Referencias

- Abdullah, M., Mansor, M., Tahir, M., Abdul ,K., Syahibudil, I., Hassan, M., Ngadiman, M. (2012). *Design, Analysis and Fabrication of Chassis Frame for UTeM Formula VarsityTM Race Car*. https://www.researchgate.net/publication/310453250_Design_Analysis_and_Fabrication_of_Chassis_Frame_for_UTeM_Formula_VarsityTM_Race_Car/link/582db68808ae102f072d9fe6/download
- AEADE. (2022). *Anuario vehicular 2021*. <https://www.aeade.net/>
- Álvarez, V. (2018). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un Vehículo de competencia formula SAE eléctrico*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15149/1/UPS-CT007481.pdf>
- Araque, G., Vélez, E.,(2016). Evolución y desarrollo estratégico organizacional del Diseño para la manufactura y montaje (DFMA): Una revisión. *Cuaderno Activa*, 8, 143-167.
- Ashraf, F. (2002). *Automatic recognition of truck chassis welding defects using texture features and artificial neural networks*.
- AWS. (1997). *AWS D8.8*. Disponible en: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AWS%20D8%2E8&item_s_key=00021814
- Castro D. (2015). *Diseño De Procedimientos Radiográfico Y Tintas Penetrantes Para Control De Calidad De Las Soldaduras En Las Construcciones De Estaciones De Bombeo De Petróleo*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
- Chávez, C (2016). *Diseño Y Construcción De Una Máquina Hidráulica Para Doblar Tubería Redonda De Acero Al Carbono De Tres Y Cuatro Pulgadas Cédula 40 Con Ángulos De 0 A 90°*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato.
- Corwin, D., Geneva, N., Generva, P., Morris, C. (2017). *MEEG 402-010 Chassis Design Report* https://udel.edu/~pgeneva/downloads/fsae/2017_FSAE_chassis.pdf
- Cuellar, M., López, M., y Torres, O. (2018). *Análisis del proceso de diseño y fabricación del chasis tubular para Vehículo Fórmula SAE*. Memorias del XXIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Campeche, México. http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A1_81.pdf
- Cumbal, R., y España, H. (2016). *Diseño y construcción de una máquina hidráulica Dobladora de tubos semiautomática con rodillos Intercambiables*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12216/3/UPS-KT01238.pdf>
- Eishin Kagaku. (2022). *Dye Penetrant Testing"RED MARK"*. Recuperado de: <https://www.eishinkagaku.co.jp/en/pt-e.html>
- Estrems, M. (2007). *Principios de Mecanizado y Planificación de Procesos*. Universidad Politécnica de Cartagena. http://www.dimf.upct.es/personal/EA_M/Principios%20de%20mecanizado.pdf
- Fernández, I. (2014). *Diseño, Cálculo, Optimización y fabricación de un subchasis para una motocicleta de competición*. Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Sevilla. https://www.academia.edu/30917386/Fabricacion_de_un_chasis
- Forero, M. (2021). *Desarrollo de chasis y carrocería de un vehículo eléctrico Para recolección de cacao*. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Tesis de pregrado. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/13918/2021_Tesis_Martha_Patricia_Forero.pdf

f?sequence=1

- Frias P., y Roman J., (2019). "Vehículo Eléctrico: situación actual y perspectivas futuras," *Econ. Ind.*, no. 411, pp. 11–20, 2019.
- González, E., Violet, M., y Agudelo, H. (2019). Aplicación del método de diseño para manufactura y ensamblaje al chasis de un vehículo de tracción humana de tres ruedas tipo recumbent como alternativa de transporte en la ciudad de Montería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol.13, no. 25, enero-junio de 2019, páginas 35-44 DOI:<http://dx.doi.org/10.31908/19098367.4012>. ISSN 1909-8367 (Impreso), ISSN 2539-4169 (En línea)
- Harr, A. (2018). *Chassis Production Process*. Chancellor's Honors Program Projects. https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/2201 https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3235&context=utk_chanhonoproj
- Heißing, B., Ersoy, M. (2011). Chassis Development. In: Heißing, B., Ersoy, M. (eds) *Chassis Handbook*. Vieweg+Teubner. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9789-3_6
- Herrko, E. (s.f). *Mecanizado por arranque de viruta*. http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/727_ca.pdf
- INEN (2009) *RTE INEN. 040. 2009:Soldadura de estructuras de acero*. Disponible en: <https://xdoc.mx/documents/rte-inen-040-servicio-ecuadoriano-de-normalizacion-5c020cfb57007>
- Inspection for Industry. (2022). *Liquid Penetrant Testing in ASME*. Recuperado de: <https://www.inspection-for-industry.com/liquid-penetrant-testing-in-ASME.html>
- Izurieta, S. (2017). *Evaluación de defectos y discontinuidades de la soldadura Por medio de la aplicación de ensayos no destructivos, en la Fabricación de tuberías de 3000mm de diámetro*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14949/1/UPS-GT002026.pdf>
- Kitani, Y., Matsuda, H., Matsushita, M., Yamamoto, S., Ando, S. y Ikeda, R. (2019). Development of Welding Technologies for Automotive Chassis. *JFE*. Technical Report. No. 24. <https://www.jfe-steel.co.jp/en/research/report/024/pdf/024-10.pdf>
- Kumar D., Kumar, M.; Suresh, B., Rao, R., Shaik, I. (2017). *Development of Automotive FlexBody Chassis Structure in Conceptual Design Phase using Additive Manufacturing*. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9919–9923. doi:10.1016/j.matpr.2017.06.294
- Martínez, I., Sánchez, N. y Espinoza, I. (2019). Programa y análisis de la metodología de Inserción de tubos a cualquier ángulo. Memorias del XXV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM. Mazatlán, México http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/a2_148.pdf
- Mentor Works. (2021). *Next-Generation Automotive Manufacturing Materials and Processes* <https://www.mentorworks.ca/blog/business-strategy/automotive-manufacturing-materials-processes/>
- Nawawi, A. (2014). DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY (DFMA): INTRODUCTION TO BOOTHROYD DEWHURST SOFTWARE. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia. DOI:10.13140/2.1.4108.9285
- NDT. (s.f). *Liquid Penetrant Inspection Method*. <https://content.ndtupply.com/media/Dye-%20Penetrant-USAF-Tech-Manual-NR.pdf>
- Paucar, A. (2018). *Diseño y fabricación de un nuevo perfil metálico que se utilizará como bastidor auxiliar para los camiones HINO de hasta seis toneladas de peso utilizando el Método de Elementos Finitos MEF*. Tesis de pregrado. Universidad Particular Internacional SEK.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2794/1/TESIS%20FINAL%2007-02-2018.pdf>

Paz, H. (2015). *Metodología DFMA De Rediseño Del Conjunto Estructural Electrosoldado De Una Máquina*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/96182/THPB1de1.pdf;jsessionid=7E73B9F9F4FB16FA48AA14BFF4FA3ACD?sequence=1>

Piping Engineering. (2017). List of Standards for Dye Penetrant Inspection. Recuperado de: <https://www.pipingengineer.org/list-of-standards-for-dye-penetrant-inspection/>

Pooja P., , Rahul R., Shubham L., Raturaj D., Avinash M. (2018). Dye Penetration Inspection on Formula Student Car Components. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)* ISSN : 2454-9150 Special Issue.

PressMark. (2016). *Chassis manufacturing process*. <https://www.pressmark.co.uk/chassis-manufacturing-process/?cn-reloaded=1>

Proaño, C. (2018). Automatización de una cortadora de vaivén kasto ebs 320 Au aplicando visión artificial. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16003/1/UPS-ST003762.pdf>

Rajpal S., Thorat B., Kothavale S., Hatwalane S. (2015), "Design considerations for automobile chassis for prevention of rolling over of a vehicle," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 612, no. October 2015, pp. 41–49, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.612.41.

Rogers, A. (2011). *Investigation of Manufacturing Techniques and Prototyping of the Smart cities City car Frame* Massachusetts Institute of Technology. <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/68919/773696292-MIT.pdf;sequence=2>

UFT. (s.f). *Chasis*. Recuperado de: <https://dautomotrizuft.weebly.com/chasis.html>