



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**Procesos de manufactura aplicada a la fabricación de un chasis
tubular para un vehículo eléctrico**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Autores:

**CARLOS VINICIO LAPO LIMA
XAVIER MAURICIO SERRANO VILLACÍS**

Nombre del director:

DIEGO FRANCISCO TORRES MOSCOSO

CUENCA – ECUADOR

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico primeramente a Dios por haberme bendecido con la salud y la vida; a las personas que aprecio y quiero mucho en este mundo, mis padres Carlos Lapo e Inés Lima, por ser el pilar fundamental con su apoyo incondicional durante toda mi existencia.

A mis hermanos Javier, Andrés, George y sobrinos por sus palabras de aliento, las cuales me motivaron para seguir adelante y nunca rendirme.

A mis abuelitos Rosa, Margarita, Carlos por compartirme sus sabios consejos para ser un hombre de bien en la sociedad.

A mis compañeros y amigos de la universidad que han formado parte en este camino de formación.

Carlos Lapo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en especial a mis padres quien me dieron todo lo requerido a lo largo de esta etapa de mi vida, para poder culminar mi carrera.

También de manera muy especial a mi amada esposa, quien es y fue mi apoyo y aliento en todo momento. A mis hijos Emilio, Julián, Renata quienes sacrificaron horas de diversión para dar lugar a mi concentración en mis momentos de estudio y aprendizaje. Y por último a mis hermanas que siempre han sido una guía un apoyo y portadoras de ánimo para beneficio mío.

Xavier Serrano

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad del Azuay, a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz; a sus docentes y en especial a nuestro director Ing. Francisco Torres, por brindarnos el apoyo y asesoramiento en el presente trabajo de titulación.

De manera muy especial agradezco a mis padres, hermanos y familiares, Dios me los bendiga.

Carlos Lapo

AGRADECIMIENTOS

Como todos los días en mi vida, agradezco al magnífico creador Jehová que es quien me ha dado el don de la vida y con ello el poder verlo todo y aprender de su sabiduría infinita. También agradezco a mis padres Mauricio y Yolanda y mis hermanas Johanna y Lesley quienes estuvieron y siguen estando para apoyarme en todo momento de la vida y ayudarme a crecer como persona y no rendirme ante los traspies de la vida.

De manera especial agradezco a mi esposa Ruth quien me dio el ánimo y apoyo junto con paciencia y cariño para concluir a cabalidad mis estudios y en ese camino agradezco a mis hijos también que estuvieron dándome un aliento más y el ánimo para concluir esta hermosa etapa de mi vida. Agradezco al Ing. Juan Carlos Malo quien fue un docente a carta cabal preocupado por mi desarrollo y progreso y a todo docente que me impartió sus conocimientos con responsabilidad y buen ánimo.

Por último a mis compañeros de estudio Álvaro, Pablo, Robert y Roni quienes desinteresadamente fueron un apoyo ya sea compartiendo sus conocimientos y apoyándome.

Xavier Serrano

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
Introducción.....	1
Revisión de la literatura	4
Materiales y métodos.....	9
Análisis y resultados	11
Discusión y conclusiones	15
Referencias bibliográficas.....	16

PROCESOS DE MANUFACTURA APLICADA A LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS TUBULAR PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

RESUMEN

El desarrollo tecnológico automotriz presenta varias aristas, entre ellas, implementación de vehículos ligeros, optimización de componentes y desarrollo de procesos de manufactura. Por ello, una premisa en la manufactura es consolidar el chasis, al ser una estructura interna que sostiene, aporta rigidez y da forma al vehículo. Ante esto, este estudio desarrolla la metodología para manufacturar el chasis de un vehículo eléctrico, priorizando costos, tiempo y calidad. Así, se plantearon seis etapas para: selección de procesos, definición de insumos y equipamiento, determinación de indicadores, y evaluación. Lo dicho permitió definir: corte de tubos por disco, elaboración de bocas de pescado antes de la soldadura, doblado por frío mediante prensa hidráulica, elaboración de fixtures, soldadura MIG, y ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes. En conclusión, la manufactura del chasis aplicó referencias normativas para los principales procesos, obteniéndose resultados fiables luego de los ensayos aplicados, corroborándose la calidad de los procesos.

Palabras claves— Chasis, manufactura, soldadura, vehículo eléctrico.



.....
Ing. Francisco Torres Moscoso. Msc.
Director del Trabajo de Titulación



.....
Ing. Robert Rockwood. Msc.
Director de Escuela



.....
Carlos Vinicio Lapo Lima
Autor



.....
Xavier Mauricio Serrano Villacís
Autor

MANUFACTURING PROCESSES APPLIED TO THE MANUFACTURE OF A TUBULAR CHASSIS FOR AN ELECTRIC VEHICLE

ABSTRACT

There are several aspects involving the development of automotive technology, including the implementation of light vehicles, the optimization of components and the development of manufacturing processes. Therefore, a premise in manufacturing is to consolidate the chassis, as it is an internal structure that supports, provides rigidity and shapes the vehicle. Given this, this study develops the methodology to manufacture the chassis of an electric vehicle, prioritizing costs, time and quality. Thus, six stages were proposed for: selection of processes, definition of inputs and equipment, identification of indicators and evaluation. This allowed us to define: pipe cutting by disc, production of fish nozzles before welding, cold bending by hydraulic press, accessory processing, MIG welding and non-destructive testing by penetrating inks. In conclusion, the manufacture of the chassis applied normative references for the main processes, obtaining reliable results after the applied tests, corroborating the quality of the processes.

Keywords- chassis, manufacturing, welding, electric vehicle



.....
Eng. Francisco Torres Moscoso. Msc.
Thesis Director



.....
Eng. Robert Rockwood. Msc.
School Director

Translated by:



.....
Carlos Vinicio Lapo Lima
Author



.....
Xavier Mauricio Serrano Villacís
Author



Procesos de manufactura aplicada a la fabricación de un chasis tubular para un vehículo eléctrico

Resumen

El desarrollo tecnológico automotriz presenta varias aristas, entre ellas, implementación de vehículos ligeros, optimización de componentes y desarrollo de procesos de manufactura. Por ello, una premisa en la manufactura es consolidar el chasis, al ser una estructura interna que sostiene, aporta rigidez y da forma al vehículo. Ante esto, este estudio desarrolla la metodología para manufacturar el chasis de un vehículo eléctrico, priorizando costos, tiempo y calidad. Así, se plantearon seis etapas para: selección de procesos, definición de insumos y equipamiento, determinación de indicadores, y evaluación. Lo dicho permitió definir: corte de tubos por disco, elaboración de bocas de pescado antes de la soldadura, doblado por frío mediante prensa hidráulica, elaboración de fixtures, soldadura MIG, y ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes. En conclusión, la manufactura del chasis aplicó referencias normativas para los principales procesos, obteniéndose resultados fiables luego de los ensayos aplicados, corroborándose la calidad de los procesos.

Palabras clave

Chasis, manufactura, soldadura, vehículo eléctrico.

Introducción

En la actualidad, la búsqueda de fuentes energéticas limpias y su aplicación para la movilidad, enfocan en los vehículos eléctricos (VE) la principal alternativa para el aprovechamiento de fuentes renovables (Frías y Román, 2019); donde las repercusiones están presentes en áreas de la economía, manufactura, tecnología o ambiente (Marchán y Viscidi, 2016). En tal virtud, pueden verse innovaciones en los sistemas de propulsión, seguridad y control (Acebo y Núñez, 2017), donde la implementación de procesos y estrategias, permite un sólido diseño de sistemas mecánicos, así como la validación para obtener un prototipo final que posteriormente pueda comercializarse (Magallán et al., 2009).

En concordancia, la industria automotriz ha venido desarrollando tecnologías para los diversos procesos de diseño y construcción. Por ejemplo, muchas regulaciones están enfocadas en la implementación de vehículos ligeros, dado el ahorro energético que puede surgir. Para ello, es constante la investigación en procesos de manufactura, materiales y optimización de varios componentes (Rosenthal, 2009). Una de las premisas en la manufactura es la reducción de masa de los vehículos, donde a la par, deben acatarse requisitos de rendimiento. Es allí donde el chasis cumple una función trascendental, dado que es una estructura interna que sostiene, aporta rigidez y da forma a un vehículo, donde los componentes mecánicos están interrelacionados en sistemas como: transmisión, suspensión, propulsión y carrocería; además, debe soportar las cargas dinámicas generadas por el desplazamiento (Navedra, 2005).

Con relación a esto, existen criterios básicos para el desarrollo de un chasis, siendo el transporte de las cargas estacionarias o suspendidas: carrocería, motor, sistemas vehiculares y pasajeros; además, debe soportar la vibración torsional causada por el movimiento del vehículo; resistir la fuerza centrífuga causada por el desplazamiento en curvas; controlar la vibración causada por el funcionamiento del vehículo, resistir las tensiones de flexión originadas en los ejes frontal y posterior por la carga y sobrecarga, y finalmente, resistir impactos por accidentes (Cambell, 2010; Luque et al., 2013). También, los perfiles de la estructura, tanto para travesaños como largueros debe garantizar la menor distribución de esfuerzos posible (Rajpal et al., 2014; Neill, 2005). En tal contexto, la Universidad del Azuay y específicamente la carrera de Ingeniería Automotriz, tienen como proyecto la construcción de un vehículo eléctrico donde se apliquen los criterios de diseño y manufactura antes descritos. En este contexto, a través de un proyecto

innovador se busca mejorar el consumo energético del automóvil, evitándose la emisión de gases contaminantes que contribuye al efecto invernadero, un fenómeno de repercusión negativa en el ambiente. Asimismo, el referido vehículo precisa de la manufactura del chasis, por lo que se debe proponer una metodología para la elaboración de este elemento; a través de una secuencia de procesos que contemple las fases de doblado, soldadura, recubrimiento del chasis, ensayos y comprobaciones.

Estado del arte

Como lo indican Genta y Morello (2009), la determinación de la metodología para la manufactura de un chasis inicia con la disponibilidad de información técnica de planos, especificaciones dimensionales y de material; para establecer posteriormente los procesos relacionados con estas características. Generalmente, la definición de actividades considera la tecnología disponible en el medio donde se va a producir el prototipo; por lo que se destacan siete etapas para la manufactura de un chasis (Cabrera y Márquez, 2014).

- a.) El marcado mediante punzado según las dimensiones establecidas en el diseño.
- b.) El corte del material.
- c.) El curvado o doblado.
- d.) La preparación del material mediante boca de pescado.
- e.) Proceso de soldadura.
- f.) Montaje de componentes.
- g.) Ensayos no destructivos (tintas penetrantes y reveladores).

De este modo, una etapa de importancia previo el proceso de soldadura es la fabricación de utillajes o fixtures para asegurar la posición espacial de los elementos a ser soldados; puesto que son dispositivos de sujeción, posicionamiento, localización y/o soporte; usados al inicio, durante y/o al final de una operación de soldadura (Redondo, 2017).

Por otro lado, 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, 2021). 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). Finalmente, luego de definirse los ensayos pertinentes, resulta necesaria la aplicación de recubrimientos de materiales para inhibir la corrosión y otras afectaciones por agentes ambientales, siendo uno de los recursos más usados es la pintura electrostática, la cual provee una capa lisa y dura de alta resistencia (Lizárraga, 2016).

A su vez, la fig. 1 indica el proceso necesario para planificar la manufactura de un chasis, donde se distinguen tres etapas: A) lanzamiento del diseño, B) configuración de producción y C) lanzamiento del modelo; con base en un tiempo de desarrollo. Para ello, el proceso debe iniciar con toda la información técnica de planos; especificaciones dimensionales, de material, normativas y legales; características que previamente debieron haberse desarrollado en las fases de pre ingeniería e ingeniería de proceso. De este modo, la información proporcionada por el equipo de diseño permitirá establecer una configuración de producción, donde se determinen los procedimientos de manufactura con base en criterios de equipamiento, disponibilidad, costos, tecnología y factibilidad.

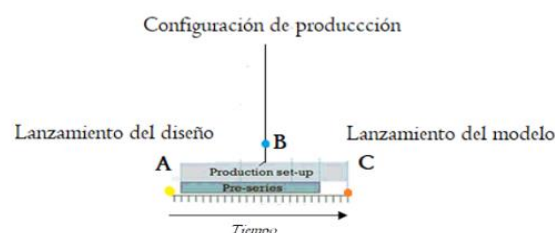


Fig. 1. Planificación para la manufactura de un chasis
Fuente: (Genta y Morello, 2009)

En concordancia, la configuración de producción responde a una secuencia de procesos debidamente especificados y definidos en la línea de tiempo, con lo cual, se podrá validar paulatinamente la fase de diseño mediante el cumplimiento de las especificaciones definidas por el concepto. Además, la configuración de producción abarca procesos de alto interés como doblado, soldadura y ensamblaje; por lo que se recomienda realizar una planificación económica para cada proceso (Genta y Morello, 2009).

Con dichas consideraciones, Pattak et al. (2017) proponen que en primera instancia la planificación de manufactura de un chasis debe contemplar una codificación para identificar cada elemento constitutivo (Fase A); tal como lo indica la fig. 2. Seguidamente, cada actividad debe planificarse según una definición y evaluación (Fase B), para luego proyectar actividades que se adapten al presupuesto del proyecto, optimizando al máximo los recursos disponibles (Fase C). Con esta consideración, en la siguiente fase podrán definirse los procesos según los requerimientos técnicos y de calidad con base en un tiempo de desarrollo (Fase D); para finalmente, fijar los costos de producción de cada proceso de manufactura (Fase E). En fin, la fig. 2 expone las fases de planificación para la manufactura de un chasis prototipo.

En cuanto a estudios realizados, Redondo (2017) estableció un proceso metodológico para la fabricación de un chasis para un vehículo prototipo de carrera. El proceso inició con el corte del material mediante aserrado, posteriormente fueron realizados fixtures para otorgar alta precisión al proceso de suelda. Por consiguiente, se realizaron las uniones no desmontables de cada uno de los elementos por el procedimiento de arco eléctrico con protección de gas (TIG).

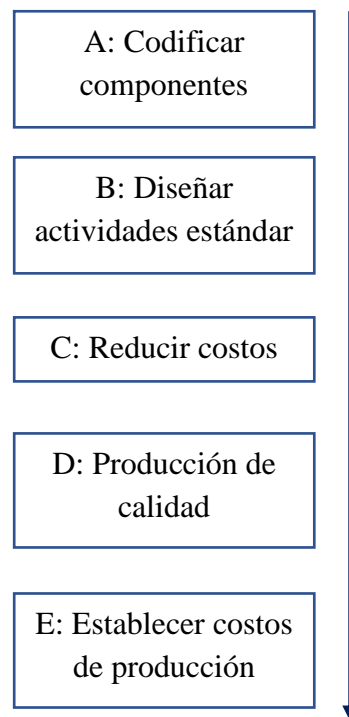


Fig. 2. Planificación para la manufactura de un chasis prototipo
Fuente: (Pattak et al., 2017).

En tanto, Minga (2016) propuso como etapa inicial preparar el material, luego realizar el corte de material a través de aserrado; seguidamente preparar las uniones mediante las formas boca de pescado y silla de montar, para realizar nodos de unión de tipo "T"; y finalmente, realizar la soldadura de tipo TIG mediante un orden de suelda; un procedimiento que debe contemplar la longitud y ángulo del arco de suelda y la velocidad de avance de la suelda. En este caso, el autor recomienda ceder o identificar los elementos y realizar la secuencia de soldado desde los elementos interiores hacia los exteriores.

Por otra parte, Álvarez (2018) aplicó ensayos destructivos a probetas, y ensayos con

líquidos penetrantes y comprobaciones bajo luz ultravioleta. Por tal motivo, el autor determinó que los ensayos de tracción a la soldadura presentaron compatibilidad entre el material base y el elemento de aporte ER70S-6, un electrodo de uso común en el medio para aceros inoxidables. Otros autores como Cabrera y Márquez (2014) concluyeron que para verificar la calidad del proceso de suelda, las tintas penetrantes y líquido revelador para la identificación de discontinuidades son recursos menos costosos y permiten detectar discontinuidades en la mayoría de materiales sólidos no porosos.

Respecto a los recubrimientos anticorrosivos, Reinnor (2017) manifiesta que en los chasis se aplica pintura electrostática por el sellado hermético, resistencia y múltiples acabados sobre las superficies donde se destina. Algunas de las ventajas descritas son en apariencia, resistencia de uso y resistencia química. En efecto, autores como Eimon (2017), Erasmus (2011) y Kechagias (2019); proponen como ensayos de comprobación de la calidad de doblado la consideración del criterio de deformación, análisis químico por espectrometría de emisión óptica, tracción, rotura Nick, impacto Charpy-V, macroataque, rotura de filete y dureza; aunque este equipamiento no está disponible para el presente proyecto, es importante conocer otros mecanismos de comprobación para realizar una planificación que garantice calidad. Igualmente, estos autores mencionan que los tratamientos superficiales pueden generarse mediante películas plásticas anticorrosivas micro estructuradas, para lograr materiales inteligentes con propiedades de autolimpieza

Revisión de la literatura

a. Preparación de los tubos

La preparación de los tubos consiste en la realización del corte para conseguir las dimensiones adecuadas durante el proceso de unión (generación de la estructura). Consecuentemente, existen algunos tipos de corte: corte por chorro de agua, corte por plasma y corte por arranque de viruta. En la tabla 1 se indican las principales características de cada tipo de corte.

Tabla 1. Características de los tipos de corte
Fuente: (Cortés, 2000).

Tipo de corte	Característica
Chorro de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente calidad • Sin exfoliación ni desgarre • No aporta calor • No genera tensiones residuales • Elevado precio • No se acopla a tubos • Oxidación del material
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> • Buena velocidad de corte • Afectación mínima de la estructura del material • Costo elevado • Imprecisión en ciertos casos
Arranque de viruta	<ul style="list-style-type: none"> • Gran precisión dimensional • Conserva las propiedades mecánicas del material • Funcionamiento muy versátil • Barato • Tamaño limitado de la pieza a mecanizar • Mayor tiempo de operación

También, esta fase incluye la elaboración de bocas de pescado, es decir, la formación de biselados de los elementos estructurales para poder aplicar una suelda lo más precisa posible. En sí, este término corresponde a la preparación de tubería para soldarse a otra principal (fig. 3). Es un método muy común y poco costoso (Chávez, 2016). Posteriormente, para realizar correctamente este biselado, deben generarse plantillas en papel de dibujo o en láminas metálicas de espesores mínimos, donde en escala 1:1, se podrá marcar en el tubo la geometría

de corte deseada (Frankland, 2000).

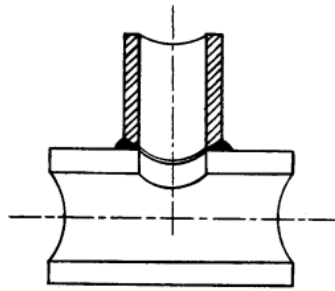


Fig. 3. Unión en forma boca de pescado
Fuente: (Chávez, 2016)

b. Doblado

Este proceso consiste en analizar los radios y longitud de la pieza a doblar (Cuellar et al., 2018), y está definido como la operación con generatrices y bordes rectilíneos o curvos, donde el material es sometido a desplazamientos moleculares en el transcurso de la operación para obtener una deformación plástica (Caza et al., 2020). En este contexto, un tubo de diámetro D y espesor t (fig. 4), posee una viabilidad expresada como (k), la que corresponde al grado de dificultad para curvado del tubo (Gil, 2018), tal como se indica en la ecuación 1, conforme el radio medio de curvatura (R), el diámetro (D) y el espesor del tubo a curvar (t):

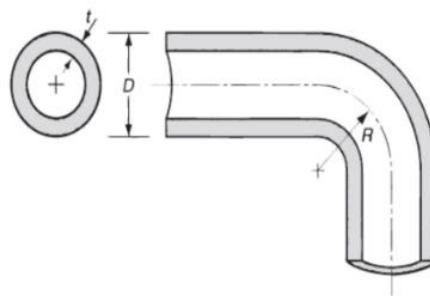


Fig. 4. Tubo curvado
Fuente: (Chávez, 2016)

$$k = \frac{R \cdot t}{D^2} \quad (1)$$

En tanto, la ecuación 2 permite conocer R según la fórmula empírica de Yazawa, basada en la ductilidad del material (ITEA, 2016); a través de un modelo que incorpora el porcentaje de elongación por tensión (Ed), el espesor del tubo (t), y el diámetro (d); como sigue:

$$R = \left[\frac{1}{Ed} \left(63 - \frac{50}{D} t \right) + 0,13 \right] D \quad (2)$$

Por consiguiente, para obtener el parámetro Ed , la ecuación 3 está en función de la distancia de una probeta estirada antes de romperse, teniéndose como Lo a la distancia inicial entre dos marcas, y Lf como la distancia entre dos marcas después de la ruptura de la probeta; tal como se indica:

$$Ed = \frac{(Lf - Lo) \cdot 100}{Lo} \quad (3)$$

Una vez obtenido el factor k , se podrá definir la viabilidad según la tabla 2.

Tabla 2. Factibilidad para doblado de tubos
Fuente: (ITEA, 2016).

K	Efecto
>0,30	El doblado es sencillo
0,3-0,1	Proceso de curvado normal, se requiere el uso de un madril interno y fijo
0,1-0,08	Se requiere de un mandril fijo con dado alisador (para evitar que el tubo se arrugue)
0,08-0,05	El doblado únicamente es aplicable usando un madril articulado interno y un dado alisador
<0,05	No es posible doblar el tubo bajo condiciones normales, se requieren herramientas especiales

c. Soldadura

Fixtures: En detalle, son un conjunto de piezas individuales que forman subensambles que guían o posicionan la soldadura, para una adecuada 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 (Redondo, 2017; Álvarez, 2018). La fig. 5 muestra el desarrollo de fixtures para un prototipo de vehículo eléctrico.

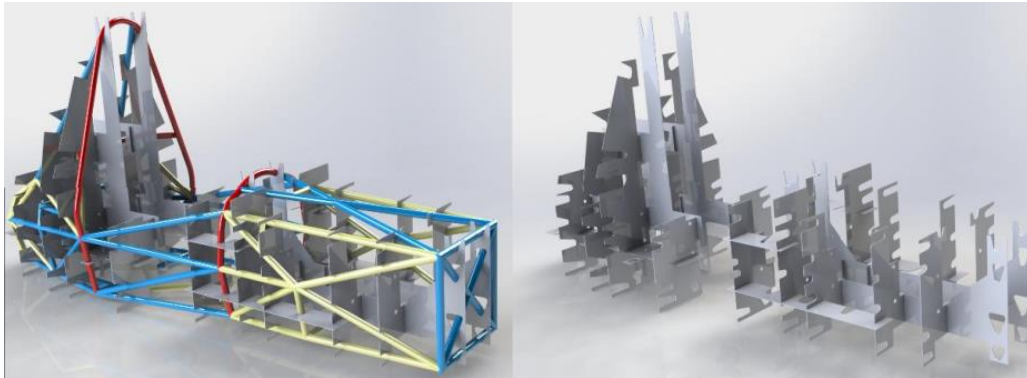


Fig. 5. Repartición de *fixtures*
Fuente: (Álvarez, 2018)

En este sentido, la norma AWS D8.8 de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) dicta las principales especificaciones para la calidad de soldadura automotriz. Los principales requerimientos están relacionados con las discontinuidades, requerimientos dimensionales y tamaño de soldadura (AWS, 2021). Para discontinuidades, se debe considerar:

- Socavado: No se permite a los 13 mm del inicio o final de la soldadura. Se puede variar hasta dos espesores. Materiales de menos de 1 mm no deben tener muescas.
- Cráteres: No se consideran dentro de la longitud efectiva si no están llenos.
- Grietas: No permitidas
- Porosidad: La dimensión máxima de los poros no debe exceder 1,6 mm en superficie, mientras que en interno no debe superar el 15% del área examinada
- Inclusiones: Si son no metálicas, se consideran igual que la porosidad
- Quemaduras: No permitidos si se generan por la fusión del material base
- Derretimiento: En filetes traslapados, no debe superar el espesor del material
- Fusión: No debe exceder el 130% del espesor
- Muecas: En los extremos del material o en los bordes de las juntas, no están permitidos.
- Superposición: No se permiten protuberancias
- Salpicaduras: No deben interferir la funcionalidad del conjunto
- Combinación de discontinuidades: No deben superar el máximo admisible dentro de su categoría (inclusiones, muescas, porosidad o fusión)

- Muestras metalográficas: Permitirán determinar la fusión en las paredes laterales de la soldadura de filete en orificios, soldaduras ranuradas y uniones ensanchadas, y la profundidad de fusión en soldaduras por arco, de tapón, ranuradas y soldaduras en orificios o ranuras.

En cuanto a dimensiones, la longitud de la soldadura efectiva no debe ser inferior al 90% de la soldadura indicada; y la ubicación debe estar sobre o en la junta, y cuando se indique, los puntos de inicio y finalización de la soldadura deben estar dentro de los 6 mm de los que se muestran en el dibujo, siempre que la pieza se mantenga en forma y funcione. Finalmente, el tamaño para soldaduras de filete, específicamente de la pierna del cordón será igual al 90% del espesor del material más delgado que se está soldando. Mientras tanto, para soldaduras a tope y ranuradas, el tamaño efectivo de la soldadura debe ser igual al espesor del material más delgado que se está uniendo o esa porción dentro de los límites del espesor de la hoja más delgada.

d. Recubrimientos

Los procesos de pintura están relacionados con varios factores que influyen para que la capa de pintura resista los períodos de tiempo necesarios. Es así como, si bien la función de la pintura es estética, también se debe pensar en la resistencia a la corrosión y la resistencia a la intemperie. La diferencia entre ambas consiste en la condición de exposición, dado que el intemperismo es una condición combinada de irradiación solar, humedad y temperatura. Mientras tanto, la corrosión es la degradación de las propiedades de los materiales en la interacción del entorno, generando efectos inevitables (Salinas, 2021).

Igualmente, en un inicio se consideraba únicamente a la oxidación como factor de incidencia, a saber el proceso en los que una sustancia gana oxígeno o pierde oxígeno. Todo esto se traduce en algunas normas *underhood/underbody* (bajo capo/ bajo cuerpo), requiriéndose pruebas de validación anticorrosivas y de resistencia a químicos comunes en zonas del motor: aceites, anticongelantes, desengrasantes, ácidos, diésel, entre otros. Luego de esto, si va a existir sometimiento a irradiación, es necesario aplicar una capa base de fosfato, para proceder a incorporar una o dos capas (fig. 6).

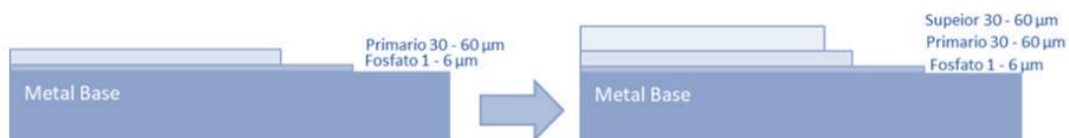


Fig. 6. Espesores para las capas de recubrimiento

Fuente: (Salinas, 2021)

En consecuencia, la tabla 3 da a conocer los espesores para la aplicación de capas, dentro de un recubrimiento estándar para vehículos, teniendo presente que la capa de fosfato constituye la base, seguida de electrodeposición, relleno, recubrimiento base y finalmente, una capa transparente (brillo). Dentro de este proceso, existe un sinnúmero de estándares para la evaluación de los procedimientos, así como para la evaluación de la calidad de las pinturas. Sin embargo, se ha identificado que la prueba más común para materiales base de acero es la norma ASTM B117 o DIN ISO 50021, o prueba de niebla salina. En sí, la duración de la prueba para imprimaciones automotrices es de 1000 horas. Después de este tiempo, el óxido en el escribano debe tener menos de 2 mm de ancho. A menudo el escriba será rayado o tratado con cinta adhesiva para encontrar mejor las áreas de pérdida de adherencia y mejor lectura. Cada tipo de evaluación está estandarizado en ASTM D1654 (los números son del cero al cinco) e incluye la preparación del panel en DIN (Hoachim y Friedrich, 2008).

Tabla 3. Especificación de capas
Fuente: (Hoachim y Friedrich, 2008).

Capa	Identificación de capa	Espesor (mm)
1	Fosfato	1-6
2	Electrodeposición	15-25
3	Relleno	25-70
4	Recubrimiento base	15-25
5	Transparente	15-25

e. Ensayos

Los principales métodos de ensayo son aplicados para la soldadura, dado que están fuertemente ligados con la resistencia estructural, siendo este el principal punto de consideración para el desarrollo del chasis. En tal virtud, a continuación se detallan los principales ensayos.

Doblado

Los ensayos para el doblado de materiales tubulares metálicos constan en diversa normativa internacional y nacional. Por ejemplo, existe de forma genérica la norma ISO 7438: Materiales metálicos: ensayo de doblado; aunque específicamente para materiales tubulares, aparece la norma ISO 8491: Materiales metálicos: sección tubular: ensayo de doblado. Por otro lado, a nivel nacional se presenta la norma INEN 110: Ensayo de doblado para el acero, aunque de manera específica, la norma INEN 134: Ensayos de doblado para tubos de acero, da a conocer el procedimiento de doblado para tubos de sección circular.

Soldadura

La soldadura constituye un proceso fundamental para la conformación de estructuras, por lo que su aplicación requiere de altos estándares. En este sentido, la normativa ASME (*American Society of Mechanical Engineers* o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) señala 12 secciones que según Izurieta (2017), permiten desarrollar el diseño, construcción, inspección y pruebas. Para cada uno de los casos, se requiere de personal capacitado, procedimientos de evaluación certificados, y los ensayos han sido divididos en dos tipos: métodos y técnicas. Dentro de los métodos se distinguen seis tipos, mientras que las técnicas constan de dos tipos, tal como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los ensayos
Fuente: (Izurieta, 2017)

Tipo de ensayo	Clasificación
Métodos	Radiografía Radioscopía Ultrasonido Inspección visual Tomografía Magnéticos
Técnicas	Superficiales <ul style="list-style-type: none"> • Tintas penetrantes • Corriente de Foucault • Partículas magnéticas Volumétricas <ul style="list-style-type: none"> • Radiografía • Ultrasonido

Materiales y métodos

Teniendo presente que una de las principales premisas en la manufactura de un chasis es preservar la rigidez estructural sin afectar en la medida de lo posible el presupuesto, este estudio seleccionó los principales procesos para las fases de: preparación del material, doblado, soldadura y ensayos; acoplándose a características de disponibilidad tecnológica en el medio, factibilidad según el material, costo de operación, tiempo, entre otras. El diagrama de la fig. 7 da a conocer las principales consideraciones.



Fig. 7. Metodología del estudio

a. Identificación de los procesos

En primera instancia, lo fundamental es reducir los costos de fabricación, aunque se deben garantizar condiciones como la ligereza, la robustez y la ergonomía, manteniéndose una filosofía de manufactura. Todo esto está relacionado con el tipo de chasis previamente diseñado, puesto que este factor es el de principal incremento del costo. Previamente, también se debe verificar las consistencias de las partes móviles, en especial de los componentes de la dirección y suspensión, para evitar un contacto entre estas. Otras consideraciones son el orden y los horarios del proceso de fabricación que deben optimizarse cuidadosamente.

En concordancia, la precisión de los procesos desempeña un rol fundamental, puesto que existen partes que están en contacto entre sí dentro de pequeñas superficies, requiriéndose procesos de unión precisa. Asimismo, para obtener una mayor precisión, es necesario generar cuñas entre las ranuras de los accesorios y perfiles para obtener tolerancias exactas. Todo esto permite hacer un proceso de ponderación de los principales procesos para:

- Preparación del material
- Doblado
- Soldadura
- Recubrimientos
- Ensayos

b. Selección de procesos

En esta fase, se debe seleccionar cada proceso conforme parámetros de selección. Así, plantea aplicar el método de objetivos ponderados, es decir, establecer los criterios (C; Cn), los valores de ponderación (V1; Vn) para cada alternativa (A; An); tal como lo indica la tabla 5.

Tabla 5. Características de ponderación

Alternativa	C1	C2	Cn
A1	V1; Vn	V1; Vn	V1; Vn
A2	V1; Vn	V1; Vn	V1; Vn
An	V1; Vn	V1; Vn	V1; Vn

Nota. La ponderación corresponderá a los siguientes factores: V1: Valor mínimo de ponderación (no satisface), Vn: Valor máximo de ponderación (satisface totalmente). Fuente: (Cross, 2018).

Con esta consideración, se propone una ponderación con tres valores (1=bajo, 2=medio y 3=alto). También, los criterios (C; Cn) y las alternativas constan en la siguiente tabla 6.

Tabla 6. Alternativas y criterios para ponderación

Proceso	Alternativa (An)	Criterios (Cn)
Preparación (cortes y bocas de pescado)	<ul style="list-style-type: none"> • Corte manual • Aserrado por disco 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo • Tiempo • Aplicabilidad • Calidad • Disponibilidad
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Electromecánico • Hidráulico 	
Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • TIG • MIG 	
Fixtures	<ul style="list-style-type: none"> • Plancha metálica • Aglomerado • Madera 	
Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Esparcimiento • Spray • Electrodeposición 	
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Destructivos • No destructivos 	

c. Insumos y equipamiento

Son los equipos, herramientas o materiales requeridos para la realización de cada proceso. Además, deberán listarse y codificarse, según corresponda (tabla 7).

Tabla 7. Codificación de elementos

Proceso	Insumos y equipamiento	Código
Preparación (cortes y bocas de pescado)	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • Pr11 • PrIn
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • D11 • DIn
Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • S11 • SIn
Fixtures	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • F11 • FIn
Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • R11 • RIn
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • I1 • In 	<ul style="list-style-type: none"> • E11 • EIn

d. Diseño de cada proceso

Se refiere a la designación de personal, elaboración de un cronograma, estimación de costos, definición de normativa relacionada y una secuencia de actividades para llevar a cabo cada proceso (fig. 8).

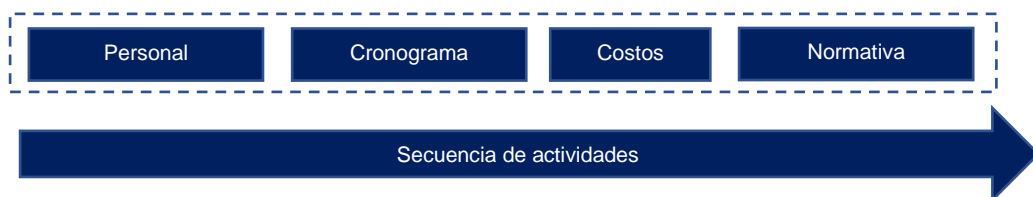


Fig. 8. Etapas para el diseño de cada proceso de manufactura

e. Indicadores

Son datos cualitativos o cuantitativos que permiten determinar la inversión realizada para cada proceso. Así, se indican los indicadores según la tabla 8.

Tabla 8. Designación de indicadores para cada proceso

Proceso	Indicador	Unidad
Preparación (cortes y bocas de pescado)	Tiempo Costo Personal Interno/externo	[horas] [\$] [#] [I, E]
Doblado	Tiempo Costo Personal Elementos doblados Curvatura Interno/externo	[horas] [\$] [#] [#] [°] [I, E]
Fixtures	Tiempo Costo Personal Elementos Interno/externo	[horas] [\$] [#] [#] [I, E]
Soldadura	Tiempo Costo Personal Elementos soldados Interno/externo	[horas] [\$] [#] [#] [I, E]
Recubrimientos	Tiempo Costo Personal Elementos recubiertos Interno/externo	[horas] [\$] [#] [#] [I, E]
Ensayos	Tiempo Costo Personal Elemento/conjunto sometido a ensayo Interno/externo	[horas] [\$] [#] [#] [I, E]

f. Evaluación

Es el tipo de ensayo a realizar en el elemento/conjunto, según una normativa referencial, conforme la determinación previa, para aceptar el resultado constructivo. En caso de no cumplirse los requerimientos, deberá repetirse el proceso previo que incida en la calidad.

Análisis y resultados

A continuación, considerando la metodología propuesta, se indican los resultados obtenidos.

a. Identificación de los procesos

Dentro de la revisión literaria, fueron preseleccionados los procesos que se indican en la tabla 9, para cada una de las etapas de la manufactura. En consecuencia, cada proceso tiene varias alternativas, relacionadas con las variables: costo, tiempo y calidad; además de estar acorde a las tecnologías actuales de manufactura, especialmente dentro de la elaboración de prototipos en el campo automotriz.

b. Selección de los procesos

En la tabla 9 se indican los procesos seleccionados, conforme el método de ponderación antes indicado. Para cada criterio, el peso de ponderación varía, puesto que se priorizan los factores costo, calidad y disponibilidad. Es necesario indicar que los procesos con mayor disponibilidad son: preparación de los tubos, soldadura y doblado. Mientras tanto, la disponibilidad de insumos y equipamiento específico retrasan la realización de recubrimientos y ensayos. Para los *fixtures*, el actual incremento de equipos CNC a nivel local reduce la dificultad de disponibilidad.

Tabla 9. Ponderación de alternativas

Proceso	Alternativa	Criterio					Total
		Costo	Tiempo	Aplicabilidad	Calidad	Disponibilidad	
		30%	20%	20%	20%	10%	
Preparación (corte)	Manual	3	1	3	2	3	2,7
	Disco	3	3	3	3	3	3,3
Doblado	Manual	3	2	3	1	3	2,7
	Electromecánico	2	3	3	2	3	2,8
	Hidráulico	2	3	3	3	3	3
Fixtures	Plancha metálica	1	2	3	3	3	2,5
	Aglomerado	3	2	3	3	3	3,1
	Madera	2	2	3	3	3	2,8
Soldadura	TIG	1	2	3	3	3	2,5
	MIG	2	2	3	3	3	2,8
Recubrimientos	Esparcimiento	2	3	3	2	3	2,8
	Spray	3	1	3	1	3	2,5
	Electrodeposición	1	2	3	3	2	2,3
Ensayos	Destructivos	1	1	3	3	1	1,9
	No destructivos	2	2	3	2	2	2,4

c. Insumos y equipamiento

Los insumos y equipamiento estuvieron relacionados con la disponibilidad, la cual forma parte del apartado "b". Además, se requirió de una planificación financiera detallada posteriormente. Como puede verse, el proceso que mayor número de elementos requirió es la preparación de los tubos, especialmente al requerirse de precisión en el marcado y corte, dado que una adecuada geometría favorece la calidad de la soldadura.

También, la soldadura es otro proceso que requiere de un mayor número de elementos, con énfasis en los instrumentos de medición requeridos para generar una máxima precisión. Otro proceso de importancia es el doblado, dado que no puede alterarse la cavidad interior del tubo, por lo que es necesario realizar las sujeciones, y estimaciones para la factibilidad según la longitud de cada sección. Finalmente, los procesos de recubrimientos y ensayos precisan de insumos específicos, por lo que su disponibilidad se ve afectada y es posible generar retrasos en la planificación hasta la importación del producto (tabla 10).

d. Diseño de cada proceso

Dentro de cada proceso, se contemplaron las principales actividades en concordancia con un cronograma. A su vez, se planificó el personal requerido, además de los costos totales/proceso y la normativa referencial. Es necesario indicar que no existen estándares específicos para una secuencia de etapas dentro de la construcción de un chasis, aunque para cada proceso individual se encuentran varias referencias.

Tabla 10. Detalle de elementos requeridos/proceso

Proceso	Equipamiento/Código	Insumos/Código
Preparación (cortes y bocas de pescado)	<ul style="list-style-type: none"> • Ingleteadora (Pr1) • Plóter para impresión (Pr2) • Mandril (Pr3) • Amoladora (Pr4) • Taladro (Pr5) • Máquina para bocas de pescado (Pr6) 	<ul style="list-style-type: none"> • Disco de desbaste (Pr7) • Disco laminado de pulir (Pr8) • Disco de corte (Pr9) • Disco flap (Pr10) • Tubo 2 pulg (Pr11) • Tubo 1 ½ pulg (Pr12) • Tubo 1 pulg (Pr13) • Entenalla (Pr14) • Playo de presión (Pr15)
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> • Roladora (DI1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo 2 pulg (e=1,5 mm) (DI2) • Tubo 2 pulg (e=2 mm) (DI3)
Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Suelda MIG (SI1) • Amoladora (SI2) • Disco desbaste y corte (SI3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Playo (SI4) • Escuadras (SI5) • Goniómetro (SI6) • Nivel (SI7) • Flexómetro (SI8)
Fixtures	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de corte láser (FI1) • Taladro (FI2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Planchas MDF (FI3) • Pallets (FI4)
Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Pistola (RI1) • Equipo neumático (RI2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Adherente (RI3) • Base (RI4) • Pintura sintética automotriz (RI5)
Ensayos	-	<ul style="list-style-type: none"> • Kit de tintas penetrantes (EI1) • Guaípe (EI2) • Disolvente (EI3)

Es así como se distinguió normativa para cuatro procesos, teniéndose principal énfasis en la soldadura y en los ensayos no destructivos (tabla 11, fig. 8).

Tabla 11. Diseño de las actividades

Proceso	Actividades	Cronograma (semanas)	Normativa
Preparación (cortes y bocas de pescado)	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño e impresión de plantillas • Medición • Marcado • Ejecución 	1 0,5 0,5 2	-
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de elementos • Logística • Ejecución 	0,5 0,5 1	DIN 8582/NTE INEN 134
Fixtures	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño • Ejecución 	2 2	-
Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de elementos • Adquisición de insumos • Ubicación en fixtures • Logística • Ejecución 	1 2 0,5 0,5 3	AWS D8.8
Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de insumos • Logística • Ejecución 	2 0,5 4	ASTM B117/ DIN ISO 50021
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de insumos • Ejecución 	2 2	ISO 3452

e. Indicadores

En la tabla 12 se dan a conocer los indicadores para cada proceso de manufactura. De esta manera, puede verse que el proceso que mayor tiempo requirió fue la soldadura, seguido del doblado y la preparación del material. Si bien existen procesos de corta duración como la aplicación de recubrimientos o los ensayos, tienen amplia importancia en la etapa final de la

manufactura. En cuanto a costo, el proceso más económico es para los ensayos, dado que relativamente se requieren pocos insumos, al contrario de proceso más complejos como la soldadura o el doblado.

Tabla 12. Especificación de indicadores

Proceso	Indicador	Especificación
Preparación (cortes y bocas de pescado)	Tiempo [horas]	22
	Costo [\$]	440
	Personal [#]	7
	Interno/externo [I, E]	I
Doblado	Tiempo [horas]	48
	Costo [\$]	377,68
	Personal [#]	7
	Curvatura [°]	180, 12
	Interno/externo [I, E]	E
Fixtures	Tiempo [horas]	20
	Costo [\$]	315,6
	Personal [#]	2
	Interno/externo [I, E]	E
Soldadura	Tiempo [horas]	50
	Costo [\$]	808,15
	Personal [#]	7
	Interno/externo [I, E]	I
Recubrimientos	Tiempo [horas]	10
	Costo [\$]	200
	Personal [#]	7
	Interno/externo [I, E]	E
Ensayos	Tiempo [horas]	4
	Costo [\$]	80
	Personal [#]	2
	Elemento/conjunto sometido a ensayo [#]	1 (todas las uniones soldadas del chasis)
	Interno/externo [I, E]	I

Dentro del equipo de trabajo, todos los procesos requirieron de siete personas, a excepción de la fabricación de fixtures y ejecución de los ensayos, donde únicamente estuvieron dos personas. Finalmente, el 50% de los procesos fue realizado en instalaciones externas, dado el equipamiento requerido, influenciando en el tiempo y el costo. Es así como la fig. 8 resume la secuencia de procesos requerida para la manufactura del chasis de un vehículo eléctrico, antes de proceder a la evaluación.

f. Evaluación

La evaluación fue realizada específicamente para el proceso de soldadura, a través de ensayos no destructivos mediante líquidos penetrantes, teniendo como referencia la norma ISO 3452. De esta manera, fueron usadas tintas penetrantes, mediante tres líquidos aplicados de manera individual consecutivamente. Este proceso requirió el menor tiempo, aunque es uno de las más importantes, dado que corrobora la calidad de la unión soldada (fig. 9).

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.



Fig. 8. Evidencias del proceso de manufactura

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. De igual modo, la penetración mediante MIG hace que los bordes sean cerrados incurriendo a menor material de aporte (Alan et al., 2008, fig. 9).



Fig. 9. Resultados del ensayo de soldadura

Discusión y conclusiones

El presente estudio plantea la metodología para la construcción de un chasis mediante seis etapas relacionadas con la identificación de cada proceso, su diseño, hasta la evaluación. Ante esto, Así, luego de realizar una revisión literaria, se pudieron identificar los principales procesos de manufactura para someterse a un proceso de selección de alternativas mediante

ponderación. Ante tal virtud, es necesario que cada proceso de manufactura se adapte al tipo de material, especialmente ante procesos que generan deformación permanente (doblado), como fusión (soldadura). Esto está relacionado con las propiedades del material.

Por ello, los procesos seleccionados fueron corte de los tubos por disco, elaboración de bocas de pescado, doblado hidráulico, soldadura MIG, recubrimiento por esparcimiento y ensayos no destructivos, haciendo que existan consistencias de las partes móviles, priorizando el costo y el tiempo, catalogados como principales parámetros para un eficaz proceso de manufactura, requiriéndose optimizar el orden y el cronograma. Es por esto que la precisión requiere ayudas a la manufactura, con base en los puntos de localización, fiabilidad y peso.

En consecuencia, se deben estimar costos de mano de obra directa y auxiliar, gastos generales y costos de los consumibles. A pesar de esto, el autor recalca que se deben priorizar los parámetros para la selección de material de relleno: material base a soldar, las posiciones de soldadura, requisitos de diseño y gas de protección. Con esta consideración, el presente estudio distinguió normativa que sirvió de guía para mejorar la calidad de los procesos y establecer parámetros de ejecución. Así, fue determinada normativa para: doblado (NTE INEN 134), soldadura (AWS D8.8) y ensayos de soldadura (ISO 3452).

Por ello, es necesario indicar que la normativa permite mejorar la calidad de los procesos. Tal es el caso de los defectos en el metal de soldadura y en las zonas de las uniones soldadas afectadas por el calor, especialmente ante grietas, porosidad, tubería de cráter o inclusiones sólidas. Asimismo, la normativa AWS D8.8 busca evitar fallas como fusión incompleta, penetración de raíz incompleta, concavidad de raíz, socavado, superposición, surco con relleno incompleto, penetración excesiva, quemado, desalineación y desalineación angular, tapa excesiva, arco golpes, deformaciones y salpicaduras.

De igual manera, durante la preparación del material, se debe evitar marcas de esmerilado, marcas de astillado y lavado insuficiente. Por tal motivo, seis etapas permitieron diseñar cada proceso, iniciando con la identificación o análisis de prefactibilidad, para seleccionar cada proceso a través de un método de ponderación que prioriza el peso relativo de los criterios.

Todo esto debe relacionarse con la definición de insumos y equipamiento, puesto que se facilita la ejecución del presupuesto y el planteamiento de un cronograma. Consecuentemente, los indicadores facilitan la identificación de variables de importancia, como costo, tiempo o personal, permitiendo tomar medidas correctivas en el desarrollo de un proceso, o ajustes en la planificación para las otras etapas. Para concluir, el proceso de ensayos empleó un método no destructivo (tintas penetrantes), donde se detectaron imperfecciones puntuales por porosidades y agrietamientos, aunque la mayoría de juntas soldadas es satisfactoria, especialmente ante el proceso MIG, puesto que se influye mínimamente en el tamaño de grano, por lo que se reducen las deformaciones.

Referencias bibliográficas

- Acebo, M. y Nuñez, A. (2017). Orientación estratégica para la toma de decisiones, industria automotriz, *Estud. Ind.*, p. 55. <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones/>.
- Álvarez, V. (2018). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15149/1/UPS-CT007481.pdf>.
- AWS. (2021). AWS D8.8. Disponible en: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AWS%20D8%2E8&item_s_key=00021814
- Bermeo, L., Calle, J. y Carrión, C. (2014). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplaza para la competición en la fórmula SAE*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Cabrera y Márquez. (2014). *Diseño y construcción de un chasis tubular para un vehículo de competición tipo supercrosscar*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7182/1/UPS-CT004038.pdf>.

- Campbell, C. (2010). The chassis, frame and body. *Sport. Car*, pp. 169–185. DOI: 10.1007/978-1-4613-3384-5_9.
- Cortés, L. (2000). *Diseño, trazado y dibujo de tuberías para plantas de proceso*. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/4733/T0002543.pdf;jsessionid=357C88C3>
- Cross, N. (2008) *Engineering design methods*. 3 ed. ISBN 0-471-87250-4
- Cumbal y España. (2016). *Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos semiautomática con rodillos intercambiables*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12216/3/UPS-KT01238.pdf>
- Eimon, González, Kramarz, Powell y Ziemann. (2017). *Carbon Fiber Monocoque Chassis Platform for Formula SAE and Formula SAE Electric Race Cars*. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/219381538.pdf>
- ERASMUS. (2011). *Ingeniería de Sistemas Industriales*. pp. 1–21.
- Frankland, T. (2000). *Trazado de plantillas para tubos*. México. ISBN. 968-18-1720-6.
- Frias, P y Roman, J. (2019). Vehículo Eléctrico: situación actual y perspectivas futuras. *Econ. Ind.* No. 411, pp. 11–20.
- Genta y Morello. (2009). *The automotive chassis*. Springer Science+Business Media B.V. Libro
- Gil. (2018). *Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa Coldidacticas Ltda*. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma de Occidente. Colombia. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10444/T08113.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Glennan, T. (2007) *Strategies for managing vehicle mass throughout the Development Process and Vehicle Lifecycle*. General Motors Corporation
- Guo, W. (2015). *Laser Welding of High Strength Steels*. Tesis. The University of Manchester. Pro Quest.
- Hoachim y Friedrcih. (2008). *Automotive Paints and Coatings*. 2da Ed. ISBN:9783527622375. DOI:10.1002/9783527622375
- INEN (2009) RTE INEN: 040. Soldadura de estructuras de acero. Disponible en: <https://xdoc.mx/documents/rte-inen-040-servicio-ecuadoriano-de-normalizacion-5c020cfb57007>
- INEN. (2009). NTE INEN. 134. Ensayo de doblado de tubos de acero sección circular. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/134.pdf>
- INL. (2016). Vehicle Lightweighting: Mass Reduction Spectrum Analysis and Process Cost Modeling. NL/EXT-16-38001.
- Internacional Energy Agency -IEA- (2018). World Energy Balances 2018.
- ITEA (2016). Estructuras tubulares. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/298466873/Itea-Tomo-15-Estructuras-Tubulares>
- Kamble, M. (2019). DESIGN AND ANALYSIS OF A COMPOSITE MONOCOQUE FOR STRUCTURAL PERFORMANCE: A COMPREHENSIVE APPROACH. Master of Science in Mechanical Engineering. Purdue University. Indianapolis. E.U. Disponible en: <https://scholarworks.iupui.edu/bitstream/handle/1805/19975/Kamble%20P%20Hammer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kechagias, J. (2019) *Sustainability Assessment for Manufacturing Operations*. Disponible en: <https://scholar.google.com/citations?user=euU9evwAAAAJ&hl=th>

- Lizárraga. (2016). *Diseño de línea para pintado electrostático*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4953/2016-PI-Gustavo_A_Lizarraga-Ing_Mecanica-UNC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luque, P., Mántaras, D., y Pello, A. (2013). Racing car chassis optimization using the finite element method, multi-body dynamic simulation and data acquisition. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part P J. Sport. Eng. Technol.* Vol. 227, No. 1, pp. 3–11. DOI: 10.1177/1754337112444517.
- Magallán, G. Silva, L., De Angelo, C., y García, G. (2009). Metodología para el desarrollo rápido de prototipos de vehículos eléctricos combinando Dymola y Simulink. *Mecánica Comput.* Vol. XXVIII, No. 38, pp. 3227–3239. <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/2955>.
- Marchán, E y Viscidi, L. (2016). Green Transportation The Outlook for Electric Vehicles in Latin America. *Banco Interamericano de Desarrollo*. Vol. 53, pp. 1689–1699. <http://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2015/10/Green-Transportation-The-Outlook-for-Electric-Vehicles-in-Latin->
- Minga. (2016). *Diseño y manufactura de un chasis para el prototipo de competencia Shell Eco-Marathon*. Tesis de pregrado. Universidad del Azuay. Ecuador. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6264>
- Navedra (2005). Automotive Chassis and Body. *Automot. Chass. Body*. Vol. 1, pp. 1–77. <https://seabeemagazine.navylive.dodlive.mil/files/2014/05/14264A-Construction-Mechanic-Basic-Chapters-14.pdf>.
- Neill, A. (2005). Chassis Design for SAE Racer.
- Omi, K. (2015). Alternative Energy for Transportation. Issues. Disponible en: <http://issues.org/25-4/omi/>.
- Pattak, A, Pathan, R., Tutul, A., Tousi, N., Rubaba, A. y Bithi, N. (2017). Line Follower Robot for Industrial Manufacturing Process. *IJEI Journal*, pp. 1-9. https://www.researchgate.net/profile/Abhijit-Pathak-8/publication/327965269_Line_Follower_Robot_for_Industrial_Manufacturing_Process/links/5baf9748299bf13e6057060e/Line-Follower-Robot-for-Industrial-Manufacturing-Process.pdf
- Parlaktaş, V., Tanık, E., Babaarslan, N. y Göktuğ, C (2019). The Design and Manufacturing Process of an Electric Sport Car (EVT S1) Chassis. *Iranian Journal of Science and Technology*. Transactions of Mechanical Engineering. 45. 10.1007/s40997-019-00328-6.
- Pathak, V. y Kumar, A. (2017). Investigating Alignment Effect on Inspection Accuracy of AM Part Using 3D Scanner. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*. Vol. 16, No. 02, pp. 157-169 <https://doi.org/10.1142/S021968671750010X>
- Pons, A. (2016). *VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FORMULA SAE: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL CHASIS*. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/219381538.pdf>
- Pressmark. (2021). *Chassis Manufacturing Process*. Disponible en: <https://www.pressmark.co.uk/chassis-manufacturing-process/>
- Rajpal, J., Thorat, S., Kothavale, B. y Hatwalane, S. (2014). Design considerations for automobile chassis for prevention of rolling over of a vehicle. *Appl. Mech. Mater.* Vol. 612, No. October. pp. 41–49. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.612.41.
- Rajpal, Y. (2021). A comparative study on the effect of multi-machine manufacturing on additively manufactured part qualities. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*. ISSN 2067–3604, Vol. XIII, No. 1
- Redondo, M. (2017). *Diseño y simulación de un chasis tubular para un vehículo tipo fórmula*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica de Madrid. España. Disponible en: http://oa.upm.es/45306/1/TFG_ROBERTO_REDONDO_MARTIN.pdf

- Reinnor (2017). *Los recubrimientos y su importancia en anticorrosivos*. Disponible en: <https://www.reinnor.com/los-recubrimientos-y-su-importancia-en-anticorrosivos/>
- Rosenthal, G. (2009). Economic and Social Council, *Oxford Hand*. United Nations, Vol. 2018. No. February. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199560103.003.0007.
- Salinas, J. (2021). Modificación de Línea de Pintura para Mejora del Desempeño del Recubrimiento en Autopartes. *Academia Journals*. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2021. México. ISSN online 1946-5351
- SIKA. (s.f). Protección anticorrosiva y antiruido. Disponible en: <https://mex.sika.com/dms/getdocument.get/3253e324-7885-30d3-a432-29ce9026d88d/sika-atwork-sika-antigravilla-plus.pdf>
- Tazeem, M. (2021). Design & Manufacturing Of FSAE Chassis. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. Volume:03/Issue:02. e-ISSN: 2582-5208
- Tsirogiannis, E. (2015). *Design of an efficient and lightweight chassis, suitable for an electric car*. Disponible en: https://www.academia.edu/32259261/Design_of_an_efficient_and_lightweight_chassis_suitable_for_an_electric_car
- Tupunatron. (2018). *Total automation*. Disponible en: <https://www.youtube.com/user/tupunatron>
- UD. (s.f) *Operaciones básicas de fabricación*. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700368/moodle/file.php/21/FMEE0108/UD7/Cap_tulo_II_FPB_Ud_7.pdf
- US. Navy. (2018). *Automotive Chassis and Body*. NAVEDTRA 14264^a
- Vignesh, Coti y Channankaiah. (2016). Stress Analysis and Weight Reduction of Automobile Chassis-A Review. *IJRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Volume 2 Issue 10.
- Vijaykumar y Patel. (2012). Structural Analysis of Automotive Chassis Frame and Design Modification for Weight Reduction. *International Journal of Engineering and Technical Research*. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/305326311>