



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO  
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE  
PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS URBANOS**

**AUTOR: MALDONADO POZO ANDERSON FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO, MSc.**

**Ibarra, 2023**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

#### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS URBANOS" presentado por el señor: Maldonado Pozo Anderson Fernando con número de cédula 1004439202, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 16 días del mes de mayo del 2023.

Atentamente

  
Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004439202		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Maldonado Pozo Anderson Fernando		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Los Cedros y Abedules, San José de Chorlavi. Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	afmaldonadop@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	-	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	095 979 5256

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“Modelización y optimización del proceso de producción de vehículos eléctricos urbanos”
<b>AUTORES:</b>	Maldonado Pozo Anderson Fernando
<b>FECHA:</b>	16 de mayo del 2023
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de mayo del 2023

### LOS AUTORES:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anderson', with several overlapping loops and strokes.

Maldonado Pozo Anderson Fernando

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado en primera instancia a mi madre, quien ha sido mi fuente de luz a lo largo de todo este camino de altos y bajos por el que he transitado durante mi carrera estudiantil, ha sido ella quien me ha inspirado para superar cada una de las dificultades a lo largo del camino. También dedico este escrito a mi Padre, abuelitos y hermanos, quienes a la par de mi madre han sabido inculcarme los diferentes principios por los que me he caracterizado en esta etapa de mi vida, han sido ellos quienes me han inspirado a seleccionar la rama profesional de la Ingeniería automotriz, a la que a partir de estos momentos tengo el orgullo de pertenecer.

## **AGRADECIMIENTO**

Después de todo este arduo trabajo, quiero agradecer en primera instancia a papa Dios todo poderoso, que me ha guiado por toda mi travesía estudiantil y que me ha llevado siempre por el camino del bien en búsqueda de cumplir mis más anhelados sueños. Además, me gustaría agradecer a toda mi familia, mi motor de vida y fuente de inspiración que a diario con su ejemplo me han sabido inculcar las bases sobre las que he cimentado toda mi personalidad, pues ha sido a través de ellos que he encontrado mi vocación profesional y a partir de este momento, prometo seguir trabajando arduamente para no defraudar la confianza que ellos han depositado en mí. De igual manera, quiero expresar mi infinito agradecimiento a todos mis maestros y guías de vida que a diario y durante un periodo aproximado de 6 años han sido capaces de transmitirme las bases técnicas que un profesional en la rama de la ingeniería debe poseer, han sido ellos quienes me han premiado con el regalo del conocimiento, y sabiduría, virtudes que se quedaran grabadas en mi memoria y bajo las cuales regiré mi vida desde este momento. Finalmente quiero agradecer a mi tutor y mentor de trabajo de grado, el ingeniero Ramiro Rosero, quien a través de sus conocimientos me enseñó a trabajar y a mejorar en cada uno de los aspectos técnicos necesarios para la culminación de este trabajo de titulación.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	X
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XI
Situación actual y prospectiva	XIII
Planteamiento del problema	XIV
Objetivos	XVI
Objetivo general	XVI
Objetivos específicos	XVI
Alcance	XVI
Justificación	XVII
Contexto	XIX
<b>CAPITULO I</b>	1
<b>1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	1
1.1. Estructuras para automóviles	1
1.1.1. Componentes de una estructura vehicular	2
1.1.1.1. Bastidor	2
1.1.1.2. Chasis	3
1.1.1.3. Carrocería	3
1.1.2. Nuevos enfoques para el desarrollo de estructuras vehiculares	4
1.1.3. Estructura autoportante	5
1.1.3.1. Estructura autoportante de aluminio	6
1.1.3.2. Estructura autoportante de acero	7
1.1.3.3. Diseño Híbrido de acero/aluminio y acero/fibra de carbono	8
1.1.3.4. Diseño basado en la fibra de carbono (CFRP)	9
1.1.4. Procesos de unión de estructuras vehiculares	9
1.1.4.1. Ensamblado por fijación mecánica	9
1.1.4.2. Ensamblado por enclavamiento termo mecánico	11
1.1.4.3. Ensamblado por procesos de unión termo mecánica	13
1.2. Generalidades del diseño cad	13
1.2.1 Software de diseño cad	14
1.2.2 Solidworks	15
1.3. Requerimientos técnicos del diseño	16
1.3.1. NormativaS	16

1.3.2. Requerimientos medioambientales	17
1.4. Modelado y simulado de procesos de manufactura	18
1.4.1. Pautas del modelado de procesos	18
1.4.1.1. Evaluación y diseño	18
1.4.1.2. Ejecución del modelo	19
1.4.1.3. Mejora continua	20
1.4.3. Software de simulación	21
<b>CAPITULO II</b>	22
<b>2. METODOLOGÍA</b>	22
2.1. Selección del tipo de estructura base para el modelado cad	22
2.1.1 Comparativa en función del tipo de estructura	23
2.1.2. Comparativa estructural en función del material	23
2.1.3. Selección mediante el diagrama de michael ashby	24
2.2. Proceso de reingeniería para el modelo cad de la estructura autoportante	27
2.2.1. Fase de escaneo	28
2.2.2. Fase de procesamiento de puntos	28
2.2.2.1. Desarrollo de la primera silueta	29
2.2.3. Fase de aplicación	30
2.2.3.1. Desarrollo de las estructuras a base de CFRP	31
2.2.3.2. Modelo autoportante final	33
2.3. Modelado de la cadena de producción	34
2.3.1. Tipos de ensamblaje	34
2.3.1.1. Ensamblaje estático (en el banco)	34
2.3.1.2. Línea de ensamblaje	34
2.3.2. Tipos de línea de ensamblaje	35
2.3.2.1. Ensamble de un solo modelo	35
2.3.2.2. Ensamble del tipo mixto	35
2.3.2.3. Ensamblaje multi modelo	36
2.3.3. Metodologías de unión	36
2.3.4. Definición de las características de la factoría	38
2.3.5. Identificación de los datos generales para el proceso de manufactura	39
2.3.5.1. Estándar de tiempo	39
2.3.5.2. Takt time	42
2.3.5.3. Producción requerida	42
2.3.5.4 Tiempo de jornada real	43
2.3.5.5. Número de estaciones	43

2.3.5.6. Eficiencia en la línea	44
2.3.5.7. Metodología de optimización	44
2.3.5.8. Costos de manufactura	45
2.3.5.8 Precio de un prototipo funcional	46
2.3.6. Generación del layout de la fabrica	46
2.3.6.1. Taller de Desarrollo	47
2.3.6.2. Taller de ensamblado	47
2.3.6.3. Taller de materia prima	48
2.3.6.4. Espacio de almacenamiento	48
2.3.6.5. Proveedores	48
2.4. Simulación de la cadena de producción	50
2.4.1. Desarrollo del primer modelo	50
2.4.2. Reubicación de características de la factoría acorde al tiempo estándar	51
2.4.3. Simulación del segundo modelo	52
<b>CAPÍTULO III</b>	53
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	53
3.1. Comparativa de la estructura	53
3.1.1 Selección de la estructura	55
3.1.2 Selección del material específico	57
3.2. Proceso de reingeniería para el modelado cad	59
3.2.1. Fase de escaneo	60
3.2.1. Fase de procesamiento de puntos	62
3.2.3. Fase de aplicación	62
3.2.3.1. Main Frame a base de fibra de carbono	63
3.2.3.3. Main Frame a base de aluminio	63
3.2.3.3. Frontal Frame (Cuerpo frontal)	64
3.2.3.4. Rear frame (Cuerpo posterior)	65
3.2.3.5. Pilares A/C y roof rails	66
3.2.3.6. Desarrollo de Shock Towers	67
3.2.3.7. Desarrollo de los paneles de fibra de carbono	68
3.2.3.8 Modelado de la estructura final	68
3.2.3.9. Modelo alternativo (manufactura en 10 estaciones)	70
3.3. Desarrollo de la cadena de producción	72
3.3.1. Estrategias de conformación	72
3.3.1.1. Conformación del Main Frame/Roof y Rear panel	72
3.3.1.2. Conformación del Frontal/Rear Frame y los pilares	73

3.3.2. Estrategias de ensamblado	73
3.3.2.1. Ensamblado entre el Main Frame y el Frontal Frame	75
3.3.2.2. Ensamblado entre el Main Frame y el Rear Frame	75
3.3.2.3. Ensamblado de los elementos que conforman el Frontal/Rear Frame y los pilares	76
3.3.3. Desarrollo del primer modelo para la cadena de producción	76
3.3.3.1. Cursograma para el proceso de ensamblaje del primer modelo	77
3.3.3.2. Selección de procesos de seguimiento acorde al orden de prioridad	78
3.3.3.3. Cálculos generales para el primer modelo	78
3.3.4 Desarrollo del segundo modelo	83
3.3.4.1. Cursograma para el proceso de ensamblaje del segundo modelo	83
3.3.4.2. Selección de procesos de seguimiento acorde al orden de prioridad	84
3.3.4.3. Cálculos generales para segundo modelo	85
3.3.4 Precio del prototipo funcional	90
3.4 Simulación de cadena de producción	94
3.4.1 Corrida del primer modelo	94
3.4.1.1 Definición de la primera estación (Salida del mainframe)	94
3.4.1.2 Definición de la segunda estación (Soldado del mainframe)	95
3.4.1.3 Definición de la tercera estación (Línea de ensamblaje)	96
3.4.1.4 Definiciones adicionales (Fuerza laboral)	97
3.4.1.5 Definiciones adicionales	98
3.4.2 Corrida del segundo modelo	99
3.4.2.1 Primera estación (CNC Machine)	100
3.4.2.2 Segunda estación (Conformado del Main Frame)	101
3.4.2.3 Tercera Y cuarta estación (Conformado del frontal y el rear frame)	102
3.4.2.5 Estaciones de ensamble	104
3.4.2.6 Proveedores (Estación de distribución de elementos de fibra de carbono CFRP)	105
<b>CAPÍTULO IV</b>	107
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	107
4.1. Conclusiones	107
4.2. Recomendaciones	108
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	110
<b>ANEXOS</b>	115

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NÚM.</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>1.1</b>	Requisitos de materiales futuros en la industria del automóvil	5
<b>1.2</b>	Comparativa de estructuras automotrices	6
<b>1.3</b>	Procesos de unión avanzada por fijación mecánica	10
<b>1.4</b>	Procesos de unión avanzada por enclavamiento termo mecánico	12
<b>1.5</b>	Procesos de unión avanzada por unión termo mecánica	13
<b>1.6</b>	El diseño CAD y sus ventajas	14
<b>1.7</b>	Softwares de diseño CAD	15
<b>1.8</b>	Beneficios de usar SolidWorks	16
<b>1.9</b>	Desarrollo del proceso de simulación	21
<b>2.1</b>	Comparativa en función de la estructura	23
<b>2.2</b>	Criterios de selección de materiales para la estructura final	24
<b>2.3</b>	Índices de selección de materiales	26
<b>2.4</b>	Comparativa de entre las diferentes metodologías de ensamblaje	37
<b>2.5</b>	Comparativa de las metodologías de ensamblaje bajo nuevos criterios	38
<b>2.6</b>	Datos de partida para la caracterización de la factoría	39
<b>2.7</b>	Referenciales de estándares acorde al balancea del Great Wall M4	40
<b>2.8</b>	Referenciales de estándares de tiempo	41
<b>2.9</b>	Cálculo de costos para el precio de distribución de un producto	46
<b>2.10</b>	Ejemplos de compañías proveedoras de primer nivel	50
<b>3.1</b>	Propiedades de los materiales seleccionados	
<b>3.2</b>	Selección del material acorde a los índices	58
<b>3.3</b>	Selección del material específico	58
<b>3.4</b>	Comparativa de los modelos que se han usado en el trabajo	59
<b>3.5</b>	Dimensiones originales del modelo Renault Twizy	61
<b>3.6</b>	Conformación de cada sub ensamble de la estructura compuesta	70
<b>3.7</b>	Conformación de cada sub ensamble de la estructura compuesta para el segundo modelo	71

<b>3.8</b>	Datos de partida para el primer modelo	77
<b>3.9</b>	Selección de prioridad acorde a las tareas a realizar	78
<b>3.10</b>	Datos de balanceo de estaciones para el primer modelo	79
<b>3.11</b>	Datos de optimización para el primer modelo	81
<b>3.12</b>	Descripción de los tiempos de trabajo inicial acorde a cada estación	83
<b>3.13</b>	Ordenamiento de prioridad de tareas	84
<b>3.14</b>	Selección de prioridad acorde al número de tareas pendientes	85
<b>3.15</b>	Datos de balanceo de estaciones para el segundo modelo	86
<b>3.16</b>	Datos de optimización para el segundo modelo	88
<b>3.17</b>	Recursos utilizados para el cálculo de costos	91
<b>3.18</b>	Precio del producto en función del gasto y la utilidad	92
<b>3.19</b>	Costos del sistema de energía	92
<b>3.20</b>	Costos del sistema de dirección	93
<b>3.21</b>	Precio del prototipo	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NÚM.</b>		<b>PÁGINA</b>
1.1	Benz Tipo 3 de 1888	1
1.2	Modelo T 1912, Henry Ford	2
1.3	Estructura del Audi 8 (2010)	7
1.4	Estructura autoportante del Pontiac Fiero	7
1.5	Estructura hibrida del BMW	8
1.6	Prototipo de una estructura a base de fibra de carbono	9
2.1	Metodología referencial del proyecto	22
2.2	Clasificación de la familia de materiales a través de CES Edupack	25
2.3	Diagrama de Ashby con la incorporación de las pendientes	26
2.3	Proceso normal e invertido para la concepción de un vehículo	27
2.4	Comparativa del proceso de conformación de CFRP	31
2.5	Relación entre procesos de conformación de CFRP, respecto al tiempo de curado	32
2.6	Diferencias entre el método convencional de inyección y el de rápida impregnación	32
2.7	Proceso de ensamblaje del modelo autoportante para una estructura compuesta	33
2.8	Caracterización de los tipos de ensamblaje	35
2.9	Funcionamiento de los proveedores de primer y segundo nivel respecto a una factoría	49
3.1	Comparativo acorde al tipo de estructuras	53
3.2	Comparativa en función de las variables de distintos materiales	54
3.3	Gráfico comparativo entre densidad y el módulo de Young	55

<b>3.4</b>	Selección de la zona ideal acorde a las variables de estudio	56
<b>3.5</b>	Proceso de reingeniería usado en el proyecto	60
<b>3.6</b>	Estructura del modelo base	62
<b>3.7</b>	Main Frame a base de CFRP	63
<b>3.8</b>	Modelo 3D del Main Frame a base de aluminio	64
<b>3.9</b>	Modelo 3D del Frontal Frame	65
<b>3.10</b>	Modelo 3D del Rear Frame	66
<b>3.11</b>	Modelo del conjunto de pilares y los Roof Rails	67
<b>3.12</b>	Soportes de suspensión o Shock Towers	67
<b>3.13</b>	Paneles de fibra de carbono	68
<b>3.14</b>	Estructura autoportante compuesta de acero y fibra de carbono	69
<b>3.15</b>	Estructura compuesta de acero y aluminio bajo el concepto iStream	70
<b>3.16</b>	Selección de los procesos de unión más viables	73
<b>3.17</b>	Estructura final con componentes por ensamblar	74
<b>3.18</b>	Ensamblado mediante soldadura MIG	75
<b>3.19</b>	Ensamblado por metodología compuesta entre junte adhesivo y	76
<b>3.20</b>	Diagrama de procedencia para la configuración del primer modelo	77
<b>3.21</b>	Balanceo de líneas para un takt time de 37,44 min	80
<b>3.22</b>	Optimización del proceso con un takt time de 32, 615 min Energía	82
<b>3.23</b>	Diagrama de procedencia para la configuración del segundo modelo	84
<b>3.24</b>	Balanceo del número de estaciones para el segundo modelo con un tiempo de ciclo de 37, 44 min	87
<b>3.25</b>	Optimización para el segundo modelo con un tiempo de ciclo de 24 min en base a la reducción de los tiempos no productivos	89
<b>3.26</b>	Estación de moldeo y curado del Main Frame	94
<b>3.27</b>	Segunda Estación	95
<b>3.28</b>	Línea de ensamblaje	96
<b>3.29</b>	Fuerza laboral y estaciones de trabajo	97
<b>3.30</b>	Modelado 3D de la cadena de producción inicial	99
<b>3.31</b>	Modelo 3D de la cadena de ensamblaje para 10 estaciones	100
<b>3.32</b>	Maquinaria CNC, 10 estaciones	101
<b>3.33</b>	Main Frame station, 10 estaciones	102
<b>3.34</b>	Frontal/Rear Frame, 10 estaciones	103

<b>3.35</b>	Roof rails/Suspention station, 10 estaciones	104
<b>3.36</b>	Assembly Stations/ 10 estaciones	105
<b>3.37</b>	CFRP Raw material station/ 10 estaciones	106

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO NÚM.</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>1</b>	Factoría 3D de nueve estaciones	116
<b>2</b>	CNC Machine para la factoría con nueve estaciones	116
<b>3</b>	Estación de desarrollo del Main Frame	117
<b>4</b>	Estación de desarrollo del Frontal/Rear Frame	117
<b>5</b>	Estación de desarrollo para los Roof Rails y las torres de suspensión	118
<b>6</b>	Línea de ensamblado con tres estaciones	118
<b>7</b>	Simuladores de proveedores de primer nivel para componentes de CFRP	119
<b>8</b>	Panel de control de las 10 estaciones	120

## **RESUMEN**

El presente documento busca llevar a cabo la caracterización de una factoría que se encargue de desarrollar estructuras autoportantes en base al modelo Twizy de Renault, para ello se ha trabajado en conceptos de simulación y optimización en base a las diferentes variables que puedan afectar la eficiencia de la mencionada factoría. En función de ello, el tema Modelización y optimización del proceso de producción para vehículos eléctricos urbanos se ha trabajado en los siguientes temarios. El primero ha sido desarrollado como un proceso de identificación de materiales para la estructura, basado diagramas de selección del material de composición, para este punto se ha trabajado con las familias de materiales metálicos y compuestos y a partir de allí se ha seleccionado la mejor opción para la estructura autoportante. El segundo temario contiene el proceso de modelado asistido por computadora (CAD), para el que fue necesario la aplicación de los conceptos básicos de la reingeniería de elementos, que permitieron el desarrollo del modelo, partiendo desde el dimensionamiento del vehículo de escala real, hasta la fase de desarrollo de la estructura a través del software CAD SolidWorks. Para el tercer temario se desarrolló dos modelos de cadenas de producción; la primera que se estableció en función de los tiempos estándar ya establecidos en por investigaciones previas de balanceo de líneas y la segunda en la que se trabajó conceptos de tiempo estándar proporcionado por libros propios del tema de diseño de instalaciones de manufactura. Finalmente, el trabajo concluye con el desarrollo de las respectivas simulaciones de las dos cadenas de producción, mediante el uso del software digital Plant Simulation.

## INTRODUCCIÓN

Energiza (2011) menciona que “decadas atras con la creación del primer cilindro que quemaba gas patentado por Jean Joseph Lenoir y posteriormente mejorado por Nikolaus Otto en el famoso motor de cuatro tiempos ya se predestinaba que el motor de combustión interna sería el futuro y en base a este concepto, se preveía tecnologías que funcionen y se adapten para la optimización de este tipo de máquinas”(p.3).

Pasaría el tiempo y las nuevas oleadas de tecnologías de propulsión alternativas como el etanol, el biodiesel, el hidrogeno, el GLP y la opción a la hibrida y electrica, llegarían como una alternativa al sistema de movilidad convencional (BESEL, S.A., 2008, págs. 4-5).

De todas ellas, la tecnología eléctrica con sus características de reducción a nivel del peso general del vehículo, una producción de energía limpia, capacidades estructurales para lograr nuevos diseños por efecto de la ganancia de espacios al eliminar la presencia de los enormes motores de combustión y muchas otras más, ha sido quien ha despuntado durante los últimos años.

El auge de este tipo de tecnología eléctrica llega a tener gran relevancia de la mano de Tesla motors (anteriormente AC Propulsion), con la creacion de uno de sus primeros modelos de vehículo denominado como T\_zero el cual cuenta con una autonomía de 300 Km (Coelho , 2017, pág. 7).

De esta manera, el escenario para que los vehículos eléctricos despunten está planteado de la mano de grandes compañías como la mencionada Tesla motors y BMW, quienes a su manera están consiguiendo características únicas en sus respectivos prototipos con características de autonomía y aghorro de energía capaces de superar las de un vehículo propulsado por el clásico sistema de combustión (Duarte, 2018, pág. 2).

La homologación “indirecta” de un solo tipo de package establece características esenciales, que a los ojos de las personas siempre deberían mantener los vehículos, tal es el caso de las parillas frontales, pensadas en un inicio para la refrigeración del radiador del motor convencional que para el caso de los modelos eléctricos dejaría de tener funcionalidad (Tarditti, 2020, pág. 2).

Las grandes empresas como Renault han estado trabajando en este tipo de aspectos a fin de mejorar la rentabilidad de los vehículos eléctricos, ya que un buen producto ingresa primero desde el aspecto visual. Para todo ello Traverso (2012) menciona que “se ha creado de la mano del vicepresidente de diseño Patrick Lecharpy el famoso Renault Twizy; un vehículo que nace desde cero, ya que la concepción inicial no solo fue la exploración de nuevos campos en cuestiones de movilidad, también se trabajó en la forma de conceptualizar las ideas generales a nivel de producción” (p. 12).

Cunalata, Terán , Santillán , & Bonilla William (2010) mencionan que “el campo del diseño estructural es un poco limitado, pero se puede tomar referencia de proyectos instaurados a nivel internacional”(pág. 5). Además, sugiere que los parámetros indispensables a considerar para el diseño son la rigidez del bastidor, la seguridad del ocupante, la distribución del peso, dimensiones del bastidor y finalmente la selección del material.

Por otro lado, la modelización de procesos ha tenido base desde hace mucho tiempo dentro de la industria, independientemente de cual sea esta. Todo ello por efecto de que este tipo de metodologías permiten la predicción del comportamiento que va a generar la industria con determinadas variables de trabajo, es decir, se puede generar escenarios análogos que permitan contemplar la idea de un cambio a futuro dentro de la matriz productiva de la industria, o a su vez se puede establecer un modelo que esquematice el proyecto de una futura industria a instaurarse.

Además, el modelado se utiliza desde la fase del diseño del sistema hasta la contemplación de cada proceso que se pueda desarrollar dentro del mismo. Si la simulación encuentra problemas de desempeño, a través de esta metodología se logra generar escenarios alternativos que permitan mitigar dichos, sin necesidad de desperdiciar en ello materias primas o recursos; puesto que todo se tratara de una simulación o modelado de escenarios.

Por lo tanto la toma de decisiones es un proceso que puede generar diferentes impactos en los procesos productivos de una industria, por lo que las pequeñas y medianas empresas generalizan técnicas de experimentación que han establecido empresas antecesoras, pero sin la opción de estimar que tan validad y aplicable puede ser para la nueva empresa. (Pérez

Rodríguez & Hernández Aguirre, 2018, pág. 23). Es así que surge la necesidad de tener a la mano herramientas que permitan la opción de un simulado de procesos sin el desgaste innecesario de recursos.

Para este propósito, hoy en día existen un sin número de plataformas computacionales que permiten la simulación de la mayoría de procesos que se pueden encontrar dentro de una industria. Para Rodríguez Vilches (2017) “la simulación a través de softwares computacionales permiten la imitación de todos los tipos de procesos inscritos en el mundo real para la industria” (p. 12).

Es por eso que la simulación de sistemas de producción es la opción ideal para el enfoque de los puntos más críticos que puede generar un proceso dentro de una empresa, de esta manera se logra dar soluciones que incrementan la eficiencia de trabajo, reducen los tiempos de paro de maquinaria y además mejoran la eficacia en cada uno de los procesos internos de la empresa.

## **SITUACIÓN ACTUAL Y PROSPECTIVA**

Son aproximadamente siete las marcas de vehículos que tienen espacios para ensamblaje a nivel local, mismas que representan el 21.3% de toda la flota vehicular nueva que ingresa al país. Además, a nivel local para el periodo del 2019 se logró el ensamblaje de 21 456 carros, mismos que fueron producidos dentro de una de las tres ensambladoras a nivel local, General Motors Ecuador, Ciauto y Aymesha (El Universo, 2019, pág. 5).

Desde esta misma perspectiva para el año 2019 apenas se ingresó al país 146 unidades de vehículos eléctricos livianos, cantidad que para el año 2020 creció a 287 unidades y que para el año 2022 sería un total de 435 unidades, que al compararlas con las 76.229, 40.229 y 36.289 de automóviles de motor de combustión interna que se importaron respectivamente para cada año, resultan en una cantidad realmente efímera, y esto se debe a factores sociales relacionados a la temática de la adquisición de repuestos, escasos lugares de mantenimiento y centros escasos de recarga de energía; y a factores económicos como los elevados precios de adquisición y mantenimiento de este tipo de vehículos (CINAE, 2022, págs. 4-7).

Además, dentro de este mismo recurso estadístico se menciona que de toda la flota vehicular para el año 2019, 2020 y 2022 únicamente se produjo a nivel local la respectiva cantidad de 23.704, 10.726 y 14.493 unidades dentro de las principales ensambladoras. Es aquí en donde se encuentra la oportunidad de cambiar el paradigma de la industria local, pues como se aprecia, las diferentes propuestas dentro del ámbito automotriz se enfocan únicamente a la industria ensambladora, dejando a un lado la posibilidad de producir unidades desde cero.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La pandemia por covid-19 ha traído consigo el desplome de los valores de la demanda e inversión dentro del campo automotriz y en consecuencia directa se ha generado un despido masivo del personal de trabajo de las distintas cadenas de producción y esto resulta realmente grave al tener en cuenta que la industria automotriz es una pieza clave en la economía mundial. Acorde a la Organización Internacional del trabajo (2020,) “su cifra de negocios anual equivale al volumen de la sexta mayor economía del mundo, pues para el 2017, el empleo directo a nivel mundial generado por este sector se estimaba en casi 14 millones de trabajadores” (p. 2).

La industria destinada para la fabricación de equipos estructurales para el transporte tiene un aporte realmente mínimo con relación al campo del producto interno bruto, ya que la estructura local para la manufactura de vehículos desde cero con estándares y bajo requerimientos de normativa internacional es realmente escasa (Carrillo , 2009, pág. 4).

Según la cámara de la industria automotriz ecuatoriana (CINAE) de todos los vehículos que circularon por el Ecuador dentro del año 2019, apenas 20, 7 % correspondieron a los vehículos ensamblados a nivel local. Para los años posteriores este porcentaje se ha visto reducido de manera gradual, representado los vehículos ensamblados para el año 2020, 2021 y 2022, un porcentaje de 16,4 %, 14, 7 % y 11, 3 % respectivamente, respecto a toda la flota vehicular.

La principal problemática para el ingreso y comercialización de vehículos eléctricos en el Ecuador, no tiene que ver necesariamente con los precios de adquisición de este tipo de automotores (CINAE, 2022, pág. 7). Acorde a lo que se menciona, el mayor miedo del consumidor tiene que ver con el poco desarrollo de infraestructura (Electrolineras) para la

recarga del sistema de energía, siendo este factor un determinante que impulsa a adquirir los vehículos convencionales pese a los beneficios que pudiesen traer los vehículos eléctricos.

De los 15 mil elementos que aproximadamente componen un vehículo, solo los componentes y subensambles propios de cada marca son manufacturados como tal en una cadena de producción local, puesto que el resto de los elementos se adquieren a través de sistemas de proveedores de distintos niveles. Es allí donde nace la problemática para gestionar un sistema de bodegas que albergue todos los elementos que son adquiridos por determinada cadena de producción.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Modelizar y optimizar los procesos de producción usados actualmente para el desarrollo de vehículos urbanos eléctricos a través de herramientas CAD y software de simulación.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir un proceso de reingeniería para la estructura autoportante en base al análisis comparativo de estructuras de distintos vehículos.
- Generar un modelo de estructura autoportante básico a través del software CAD con el objeto de diseñar un proceso productivo.
- Establecer un modelo productivo para la línea de ensamblaje aplicable al proceso de fabricación de la estructura autoportante del vehículo eléctrico urbano.
- Simular el proceso de producción de la estructura autoportante a través de un software computacional.

## **ALCANCE**

El presente proyecto de modelado y optimizado de procesos de producción para el desarrollo de estructuras auto portante de vehículos eléctricos urbanos, tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

Se desarrollará una estructura autoportante para vehículos eléctricos urbanos a través de la herramienta CAD, SolidWorks; la cual estará definida por una combinación de diversos materiales para su composición. Se trabajará en dos configuraciones estructurales; la configuración acero/CFRP se aplicará en la constitución del primer modelo de estructura acorde al proceso convencional de ensamblaje; para el caso del segundo modelo se aplicará una configuración de Al/CFRP, el cual será sometido a un proceso de línea de producción bajo el enfoque que establece el diseñador Gordon Murray sobre sus estructuras super light.

Además, se hará uso del paquete digital de SIEMENS , Plant Simulation, para la simulación de la planta de manufactura que trabajará bajo el margen de producción de estructuras autoportantes siguiente; en el primer modelo se partirá de la conformación del Main Frame de CFRP y a partir ahí se ensamblará el resto de sub ensambles a través de la cadena de producción; para el segundo modelo se tomará como punto de partida la distribución de manera ordenada de la materia prima para la composición del iFrame en base a la disposición de cada estación de trabajo, después se gestionará la parte de conformación de cada subensamble a través de los distintos procesos de unión estructural y finalmente se procederá con el ensamblaje de todos los componentes (iFrame, iPannels y Integration Panels) de la estructura autoportante.

Los puntos más importantes que se tomarán en cuenta dentro del marco de producción serán: el proceso de conformado y ensamblado de las diferentes estructuras y el trabajo de distribución de los componentes a base de fibra de carbono, aluminio y acero por parte de los proveedores de primer nivel.

Para el desarrollo del cuerpo principal (iFrame) del segundo modelo, se ha pensado en la posibilidad de que la gestión de producción de la materia prima se lo realice a través cortes por CNC, puesto que la estructura será conformada por aluminio que la hace factible a ese tipo de procedimientos.

Finalmente, se evaluará las posibilidades de optimización de los procesos de producción para el desarrollo de este tipo de estructuras en función de la reducción del takt time y el aumento de la eficiencia de la línea de ensamblaje.

## **JUSTIFICACIÓN**

Dentro del marco mundial, el eje que motiva a la creación de nuevas tecnologías es la erradicación del cambio climático y los efectos que se generan a raíz de esta problemática, pues como bien lo señala el Plan nacional del buen vivir, el cambio solo se logrará si se transforma tanto la matriz productiva y energética para la generación de recursos económicos y nuevas plazas de trabajo (Senplades, 2017, pág. 4). Bajo esta perspectiva, el presente proyecto pretende enfocarse a la temática referente al cambio dentro de la matriz energética, pues el mismo es pensado para ser usado en vehículos que tenga como fuente de

energía baterías eléctricas recargables, que permitan alcanzar el objetivo citado con anterioridad, referente al cambio en la matriz productiva.

Por lo tanto, al hacer un breve enfoque de la época actual, no se demanda únicamente un cambio estético referente a las nuevas tecnologías automotrices, lo que se busca a día de hoy, es la eficiencia en todos los sentidos de la palabra, es preciso bajo este concepto que se desarrollaron en un inicio los vehículos eléctricos, ya que dichos entregan un nuevo abanico de posibilidades para los escenarios futuros en cuestión de movilidad, por lo que la palabra eficiencia engloba cada una de sus componentes.

Ahora bien, el proyecto está pensado para el desarrollo de estructuras de vehículos eléctricos, específicamente una autoportante que permita su concepción a través del proceso de reingeniería, teniendo como base otras similares como la que se maneja en el actual eléctrico de Renault, en su modelo Twizy, o los que propone el diseñador Gordon Murray con su modelo Motiv. En base a estos antecedentes se pretende entregar un nuevo enfoque para este tipo de estructuras, ya que además se hará uso del concepto de super light y herramientas de diseño CAD, que permitan la concepción de nuevos diseños.

El proyecto pretende redireccionar el enfoque de trabajo, en lo referente al tipo de metodología usada para solucionar temas de procesos de fabricación que se tienen actualmente dentro de las empresas a nivel local, específicamente en el campo de la constitución del automóvil, porque si bien es cierto el proyecto es pensado para vehículos eléctricos, eso no limita la posibilidad del aporte que se puede generar para las actuales compañías que se dedican al ensamblado de vehículos de combustión interna.

Son alrededor de 401 establecimientos a nivel nacional que son partícipes de la manufactura dentro del campo automotriz (Díaz Villagómez & Tufiño Molina, 2016, pág. 10). Por lo tanto, el proyecto abre nuevos enfoques en cuestión de procesos de manufactura, ya que se contará con la herramienta de modelado y simulado de SIEMENS, conocida como Plant Simulation, que otorgará la posibilidad de generar procesos de producción hipotéticos, sin desperdiciar en el proceso cantidades exageradas de recursos.

## CONTEXTO

En lo referente a la temática de estudios para la construcción de estructuras de soporte vehicular o chasis, existen muchos caso de estudio, como el mencionado por Cabrera & Marquéz (2014) en el que sugiere que este tipo de estructuras “ son pensadas para un vehículo super cross y que se asemeja mucho a la estructura autoportante pensada para el presente proyecto, la diferencia fundamental radica en el tipo de material y conceptos nuevos que se utilizaran para la concepción del mismo, puesto que el enfoque que propone el mencionado autor es en base a la fibra de vidrio y estructuras tubulares” (p. 12).

Por otro lado, para el campo de desarrollo de procesos de fabricación de chasis de vehículos, a nivel local es escaso el contenido de investigaciones que se puede encontrar. Dentro de las opciones que tiene un posible comprador siempre optara por aquellos que son de origen exterior al nacional, muestra clara de ello es que la venta de vehículos importados haya crecido en un 40%, mientras que la venta de los ensamblados disminuyo de un 53% a un 25% en el 2015 (Gonzales, 2018, pág. 8).

A través de las temáticas que se mencionan en el presente trabajo se abre un abanico de posibilidades para la fomentación de nuevas ideas para las industrias de desarrollo de estructuras vehiculares, mismas que si manejan bajo un concepto claro que puede adquirirse a través del software de modelado y simulado, pueden llegar a aumentar los porcentajes de eficiencia dentro de un proceso de producción.

# CAPITULO I

## 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.1. ESTRUCTURAS PARA AUTOMÓVILES

A lo largo del tiempo los diferentes artífices del diseño vehicular han desarrollado estructuras capaces de soportar en ellas, tanto a los ocupantes como a los diferentes componentes y mecanismos de un vehículo.

El inicio de las estructuras vehiculares nace a partir de la creación del primer vehículo, indistintamente de que dicho no haya sido propulsado aún por sistemas mecánicos, siendo el sustituyente por aquella época el sistema de tracción manual (Schlott, 2018, pág. 22).



**Figura 1.1** Benz Tipo 3 de 1888

(Schlott, 2018, pág. 22)

A la par, la industria automotriz de aquella época desarrollaría la estructura que se evidencia en la Figura 1.1, la cual estaría basada en la conformación de los vertebrados, ya que dichos cuentan con la composición por separado de dos semiestructuras, el esqueleto quien se encarga de entregar el soporte general del cuerpo y el conjunto cobertor como músculos y piel; que para el caso de los vehículos sería, el bastidor y la carrocería respectivamente.



**Figura 1.2** Modelo T 1912, Henry Ford

(Schlott, 2018, pág. 23)

Pasaría el tiempo y se seguiría trabajando con estructuras del tipo madera, que no cambio hasta la llegada de la producción en masa de la mano de Henry Ford, quien con su modelo T mostrado en la Figura 1.2, generalizaría además el uso del acero como material de construcción para vehículos.

En búsqueda de un mejor rendimiento, mejorar la calidad de los materiales, disminuir la cantidad excesiva de peso muerto y mantener un grado de seguridad acorde a la necesidad de los ocupantes, nacería de la mano de Jay Hayes el primer vehículo de constitución autoportante conocido como Ruler Frameless, quien tendría una sola estructura que haría las veces de bastidor y de carrocería (Gutgsell, 2019, pág. 9).

### **1.1.1. COMPONENTES DE UNA ESTRUCTURA VEHICULAR**

Una estructura vehicular suele conformarse por varios elementos estructurales que sirven de base para el alojamiento de los diferentes sistemas de un vehículo, como el de suspensión, el de dirección, el de frenos y el de potencia, la mencionada suele conformarse por los siguientes componentes.

#### **1.1.1.1. Bastidor**

Es aquella estructura conformada por dos bigas longitudinales, que hacen de soporte para los travesaños que al final del día conceden una forma de escalera. Este tipo de soporte

estructural tiene la capacidad de mantener acoplados a todos los componentes, además, es el eje de soporte principal en una colisión (AA & Galuschak, 2020, pág. 20).

El bastidor como tal se constituye para el alojamiento de la carrocería y suele ser acoplado a él mediante la aplicación de mecanismos de sujeción como pernos o remaches, este tipo de constitución conlleva a que la transmisión de desperfectos de la calzada sea casi imperceptible dentro del habitáculo del vehículo.

Sin embargo, los inconvenientes que genera el uso de estas estructuras son desglosadas de manera precisa por la ventaja anteriormente mencionada, ya que al mantener una estructura más rígida se limita la deformación uniforme en una colisión, lo que se traduce como un impacto directo al interior del habitáculo del pasajero.

#### **1.1.1.2 Chasis**

Al pasar de una sola estructura conformada por bigas a un sistema un poco más completo, se forma la silueta de una nueva estructura a la que se le denomina chasis. Este tipo de estructuras tiene la particularidad de que para su composición es necesario el acople de los sistemas de suspensión y dirección.

Al igual que su antecesor para la conformación final del vehículo se requerirá del proceso de fabricación carrocería sobre bastidor, el cual consiste principalmente en la unión flexible de estos dos componentes a través de pernos y tornillos de sujeción (Cromer, Cromer, Foster, & Purdy, 2020, pág. 7).

Esta última configuración es usada hoy en día para la conformación de estructuras de vehículos de trabajo pesado y algunos todoterrenos puros que necesitan el desarrollo de un gran torque por el tipo de terreno y camino para el que son pensados, por ende, en su fabricación es del tipo bastidor y chasis.

#### **1.1.1.3. Carrocería**

Bajo la idea de establecer un recubrimiento general para el bastidor y chasis, nace la necesidad de construir lo que se denomina carrocería, que resulta ser el conjunto capaz de servir como sellador del cuerpo general del vehículo, como ejemplo de ello se tienen las

puertas, el capot frontal y la puerta posterior de la cajuela, mientras que para el caso de los vehículos pesados será un conjunto general conocido como cabina (Ribes, 2019, pág. 5).

Además, la carrocería permite sugerir el modelo del vehículo, ya que dicha será compuesta por todas las partes que generaran la estética final del automotor que se esté tratando.

Por otro lado, la carrocería no solo es cuestión estética, pues su finalidad hoy en día se basa en enfoque de mejora continua a nivel general, es decir, lo que se busca con las nuevas concepciones es disminuir el consumo excesivo de combustible, alcanzar un mejor rendimiento y por supuesto mitigar en la mayor cantidad posible la emisión de agentes contaminantes a la atmosfera.

### **1.1.2. NUEVOS ENFOQUES PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS VEHICULARES**

El cambio a nivel tecnológico que sufre todo tipo estructuras es en beneficio del usuario que al final del día tiende a ser el consumidor de cualquier producto. Para el caso del ámbito automotriz Matew (2018), menciona que “la disminución de peso, las necesidades de aumentar la eficiencia y la implementación de las diferentes políticas ambientales, hacen necesario la implementación diaria de nuevos componentes que vayan en pro del beneficio del consumidor (p. 20). Ejemplo de ello, es el uso en mayor cantidad de polímeros para la constitución general del vehículo, además del uso de materiales más ligeros como el aluminio o la fibra de carbono que a pasos agigantados se está convirtiendo en uno de los materiales preferidos de muchos fabricantes que ven en él, la opción ideal capaz de otorgar la resistencia del acero y la ligereza del aluminio en un solo material.

A partir de este punto es notorio que para el futuro se trabajará con los materiales compuestos, ya que son este tipo de configuraciones las que aportaran a generar una determinada ventaja respecto a otro material. Algunos de los requerimientos que se presentan a mejorar por parte de los materiales se han dispuesto en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Requisitos de materiales futuros en la industria del automóvil

<b>Requerimientos de la industria automotriz</b>	<b>Reacción de la industria</b>	<b>Tipos de materiales</b>
	Menor consumo Menor peso en general del vehículo	Materiales más ligeros Materiales más eficientes Uso de materiales compuestos
<b>Importancia de recursos y del medioambiente</b>	Reducción de emisiones contaminantes -De los vehículos -Del proceso de producción de vehículos	Menos combustibles fósiles, que aumentan la contaminación Reducción de emisiones en la producción, al usar energías alternativas
	Ciclos de reciclaje óptimos	Materiales reciclables Polímeros reciclables Materiales orgánicos
<b>Precios asequibles</b>	Reducción de costos para el desarrollo y producción	Materiales más económicos Costos de producción menores

**Fuente:** (Matew, 2018, pág. 18)

### 1.1.3 ESTRUCTURA AUTOPORTANTE

Si el bastidor está pensado para el alojamiento de estructuras al igual que el chasis y la carrocería para la conformación de la apariencia general del vehículo, se esperaría que la autoportante únicamente sea la conformación de las dos, que en un principio resulta ser así, pero que está pensada específicamente para precautelar sobre cualquier aspecto la seguridad de los ocupantes.

Como lo menciona Adamski (2020) “el concepto autoportante mantiene una estrecha relación con la deformación programada, que en sus propias palabras, la describe como aquel proceso en el que por medio de los diferentes componentes fusibles, la carrocería autoportante es capaz de comprimirse en sus zonas más blandas y de manera progresiva hasta llegar a la cabina o habitáculo, que por efectos de construcción mismo es quien mantendrá en la medida posible su forma original a fin de evitar cualquier lesión grave sobre los ocupantes” (pág. 3).

En función de este preámbulo se ha se ha desarrollado la Tabla 1.2, en la que se dispone algunas de las ventajas y desventajas de las diferentes estructuras.

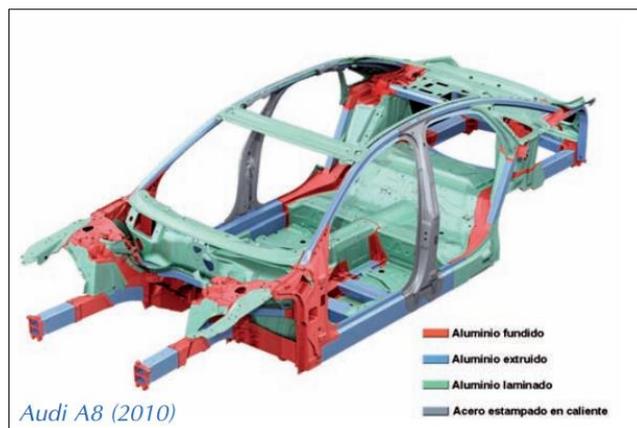
**Tabla 1.2** Comparativa de estructuras automotrices

<b>Tipo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Bastidor o body on frame</b>	Aislamiento de la carrocería	Por efecto de la unión por juntas plásticas o silent-blocks.
	Resistente a impactos	Por efecto de mantener un conjunto de dos vigas duras que hacen de soporte a impactos.
	Económico	Por efecto mismo de la forma de construcción.
<b>Autoportante y Monocasco</b>	Más rigidez torsional	El hecho se debe a la unión de más componentes para su conformación.
	Mayor seguridad	Mantiene este concepto gracias a la deformación programada.
	Incremento de espacio interior	Se gana más espacio, al limitar el uso de las vigas con un espesor considerable.
	Ligero	Pese a tener más partes, el conjunto final llevaría teóricamente menos material que las vigas del bastidor.

**Fuente:** (Matew, 2018, pág. 25)

### 1.1.3.1. Estructura autoportante de aluminio

Se trata de un cuerpo portante de elementos de la carrocería constituido a base aluminio; a pesar de que ahora se menciona el Audi 8 y otros modelos como referencia de este tipo de construcción, poco tiempo atrás este material estaba derogado al uso específico en otros elementos como bloques de motor, culatas, elementos de refrigeración, entre otros por sus bastas capacidades para la evacuación de calor y su elevado índice de resistencia ante la corrosión.



**Figura 1.3** Estructura del Audi 8 (2010)

(Shashank & Vadhavkar, 2019, pág. 34)

El uso del aluminio, como se muestra en la Figura 1.3, en la construcción de carrocerías permite reducir los índices de contaminación del vehículo ya que se supone que por cada 100 kg menos, se está disminuyendo en 0,35 litros el consumo de combustible por cada 100 Km de recorrido, además de -8.8 g de CO<sub>2</sub> por cada Km.

### 1.1.3.2. Estructura autoportante de acero

La idea principal de este tipo de estructura es precautelar la seguridad de los ocupantes, ya que al hacer uso de materiales más livianos se puede jugar en la configuración de la estructura para reducir los índices de mortandad en caso de accidente. Puesto que el acero es mucho más pesado y menos deformable, se deroga para la subestructura principal, y los más versátiles a la hora de recibir impactos son usados para las partes frontales y posteriores del vehículo que se han de deformar al recibir el impacto para reducir la transmisión de la energía en la colisión hacia el interior del vehículo.



**Figura 1.4** Estructura autoportante del Pontiac Fiero

(Shashank & Vadhavkar, 2019, pág. 36)

Se trata de un concepto de estructura en el que se desarrolla una subestructura a base del acero y en ella se conforman paneles de revestimiento para maleteros, capots, puertas a base de otros materiales; por ejemplo, para el caso Land Rover P4 de los 60 s en el que se hizo uso de paneles a base de aluminio o el caso del Pontiac Fiero, mostrado en la Figura 1.4, en el que se revistió la estructura de acero con paneles de piel de polímero.

### 1.1.3.3. Diseño Híbrido de acero/aluminio y acero/fibra de carbono

Este concepto viene más enfocado para las partes extras que conforman la estructura autoportante, como el caso de las puertas o las torres de la suspensión. Pues se puede ejecutar la conformación de una puerta haciendo usos de los dos materiales a manera de paneles, siendo el interior del material menos deformable y mayores propiedades de resistencia (acero), y la parte exterior conformada por el material con propiedades de absorción (aluminio).



**Figura 1.5** Estructura híbrida del BMW

(Shashank & Vadhavkar, 2019, pág. 38)

Para el caso de la hibridación con la incorporación de la fibra de carbono, se ha logrado obtener mejores resultados finales a la hora de desarrollar estructuras, ya que este último compuesto aporta además de una reducción de aproximadamente 50% del peso general del vehículo, otorga propiedades elevadas de rigidez y resistencia. El modelo que se ha generado con este tipo de hibridación en serie es el BMW M3 CSL, mostrado en la Figura 1.5, con una reducción en su tiempo de producción de hasta 5 veces menos a lo habitual.

#### 1.1.3.4. Diseño basado en la fibra de carbono (CFRP)

El uso de la fibra de carbono se remonta a los años 80 en un McLaren modelo MP4/1 para la competencia de fórmula 1, pues gracias a ello gozaría de propiedades de resistencia al impacto además del aporte que se generaba a nivel de reducción de peso del vehículo.



**Figura 1.6** Prototipo de una estructura a base de fibra de carbono

(Shashank & Vadhavkar, 2019, pág. 40)

Básicamente el uso de la fibra de carbono se lo aplica a base del moldeo por transferencia de resina (RTM) a fin de generar una sola estructura, como la mostrada en la Figura 1.6, que pueda sustituir la unión de otros elementos para la conformación de dicha, al hacerlo a través de otro material.

#### 1.1.4 PROCESOS DE UNIÓN DE ESTRUCTURAS VEHICULARES

Los diferentes componentes automotrices han de tener sus metodologías de ensamblado bien definidas acorde al tipo de producto que se entregará a determinado nicho de negocios.

##### 1.1.4.1. Ensamblado por fijación mecánica

- Clinchado mecánico. - Se trata de un proceso en el que dos materiales de conformación laminar se unen por efecto de un punzón que generará presión desde la parte superior sobre el conjunto de materiales, mientras una matriz lo hará desde la parte inferior.

Su uso principal es para la unión de aceros de alta resistencia, aleaciones de aluminio y compuestos de polímero.

- Remachado autoperforante (SPR). - Se trata de una técnica en la cual se hace uso de un remache de tipo semitubular para producir la deformación de los elementos a unir, la principal diferencia con su antecesor es que en esta última técnica se hace uso de un elemento exterior(remache).

Al tratarse de un tipo de unión en el que no es necesario técnicas de fusión, su uso está disponible para el junte de varios tipos de materiales como aceros recubiertos de zinc, orgánicos o pre pintados, aleaciones de aluminio, polímeros y compuestos.

Dentro de la primera categoría de procesos de unión avanzados se encuentran todos los mencionados con anterioridad y a partir de estos conceptos se ha gestionado la Tabla 1.1 acorde a las ventajas e inconvenientes que puede atraer cada tipo de proceso.

**Tabla 1.3** Procesos de unión avanzada por fijación mecánica

<b>Procesos de unión avanzados</b>		
Tipo	Ventajas	Desventajas
<b>Por Fijación mecánica</b>		
<b>Clinchado mecánico</b>	Fácil y rápido	se trata de una conexión por puntos
	No involucra elementos externos	involucra delaminación en el proceso
	se evita problemas inducidos por temperatura	se trata de una conexión por puntos
<b>Remachado autoperforante</b>	Fácil y rápido	involucra delaminación en el proceso
	Se evita problemas inducidos por temperatura	es necesario el uso de un elemento externo costoso

**Fuente:** (Center for automotive reserch, 2006, pág. 25)

#### 1.1.4.2 Ensamblado por enclavamiento termo mecánico

- Remachado por fricción. - Se trata de un proceso en el que un remache del tipo giratorio se introduce a través de los elementos a unir por efecto de la fricción que se produce en el proceso, su principal característica es la de expansión interna una vez el remache haya ingresado hasta la profundidad especificada dentro del elemento de polímero.

Su aplicación es ideal para el junte entre metales y materiales compuestos a base de polímeros.

- Auto remachado por fricción. -Se trata de un proceso con un símil a la soldadura, pero con la característica de que aquí no necesita de algún tipo de electrodo para conformación de la junta, el proceso se genera por efecto de la producción de calor en de la máquina herramienta que generará este tipo de unión sobre un agujero predefinido fabricado en el material metálico, mismo que será rellenado en este proceso por el material compuesto por efecto de la deformación térmica.

Como o su antecesora el remacho por fricción, este proceso es útil a la hora de conformar materiales metálicos con materiales compuestos a base de polímeros.

- Clinchado por inyección. - Para este proceso será necesario que el material compuesto a base de polímero sea fabricado de tal manera que mantenga un esparrago que encajara a posteriori con el orificio preinstalado en el elemento metálico, finalmente a través de la maquinaria necesaria se precalentara y presionará el esparrago hasta conseguir que el orificio sea llenado en su totalidad.

Este tipo de junte se usa, para la unió de una superficie de metal con un orificio y el polímero compuesto.

- Apilamiento de llenado a base de fricción. - Se trata de un proceso actualizado del remachado por inyección, ya que en este nuevo proceso realiza los mismos pasos que su antecesor, pero con la característica de aquí se hace uso de un esparrago exterior y así se elimina la necesidad de fabricarlo dentro de la pieza de polímero.

La herramienta giratoria inserta el esparrago a manera de remache entre el orificio preinstalado en la pieza de metal y lo une hasta la superficie del material compuesto.

La Tabla 1.4 presenta un pequeño resumen de todas las metodologías de unión por enclavamiento termo mecánico, en esta tabla se analiza las diferentes ventajas y desventajas de cada uno de los procesos.

**Tabla 1.4** Procesos de unión avanzada por enclavamiento termo mecánico

<b>Procesos de unión avanzados</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Por enclavamiento termo mecánico</b>		
<b>Remachado por fricción</b>	Fácil y rápido	Se trata de una conexión por puntos
		Involucra elementos externos puede generarse problemas por temperatura
<b>Auto remachado por fricción</b>	Alta productividad	Se trata de una conexión por puntos
	No involucra elementos externos	Fuertes fuerzas de unión puede generarse problemas por temperatura
<b>Clinchado por inyección</b>	Fuerzas de procesamiento bajas y sencillas	Se trata de una conexión por puntos
		es necesario producir un esparrago perforado requiere un orificio en el elemento metálico
<b>Soldadura por fricción</b>	Junta continua	puede generarse problemas por temperatura
		Fuertes fuerzas de unión puede causar interferencia en la fibra
<b>Apilamiento de llenado basado en la fricción</b>	Proceso sencillo	puede generarse problemas por temperatura
		Fuertes fuerzas de unión puede causar interferencia en la fibra

**Fuente:** (Center for automotive reserch, 2006, pág. 25)

### 1.1.4.3. Ensamblado por procesos de unión termo mecánica

Contrario a los otros procesos mencionados aquí y al igual que un mecanismo de unión adhesiva, no se requiere de deformación sustancial de los elementos a unir, ya que básicamente se calienta los elementos a tal punto que se alcance un rango de temperatura de unión deseado.

Su uso como el resto de los procesos está disponible para el junte entre elementos del tipo metal y compuestos a base de polímeros.

La Tabla 1.5 presenta varias metodologías de unión, todas configuradas y establecidas por la disminución o aumento de temperatura en el proceso.

**Tabla 1.5** Procesos de unión avanzada por unión termo mecánica

<b>Procesos de unión avanzados</b>		
Tipo	Ventajas	Desventajas
<b>Por unión termo mecánica</b>		
<b>Proceso basado en radiación (tipo laser)</b>	Unión continua o por puntos	implica problemas por temperatura
	Fuerzas de procesamientos insignificantes	las superficies deben tener tratamientos previos absorción de radiación
<b>Proceso basado en fricción</b>	junta continua o por puntos	implica problemas por temperatura
		las superficies deben tener tratamientos previos

**Fuente:** (Center for automotive reserch, 2006, pág. 15)

## 1.2. GENERALIDADES DEL DISEÑO CAD

El sistema CAD (sistema de diseño asistido por computadora), tiene la capacidad exploratoria de una infinidad de alternativas para el diseño de un determinado producto, en otras palabras, son la alternativa ideal a los bocetos y prototipos físicos, que por lo general acarrearán gastos innecesarios de recursos (Čulík , Harantová, & Hájnik , 2020, pág. 23).

Los diferentes sistemas CAD permiten la exploración de cada faceta del diseño ingenieril, es decir, se los utiliza desde la concepción del boceto hasta del ensamble estructural de determinado producto, a través de ellos se análisis de los diferentes aspectos que puedan afectar la funcionalidad de este (Mikolajczyk , Malinowski, & Moldovan, 2019, pág. 30). Desde esa perspectiva se podría realizar una valoración de las ventajas y desventajas del diseño asistido por computador, y se generaría algo similar a lo que se presenta en la Tabla 1.6.

**Tabla 1.6** El diseño CAD y sus ventajas

<b>Ventajas del diseño CAD</b>	
Reducción de errores	Eficacia en procesos de diseño
Diseños estructurales con sus respectivas características (color, material, geometría, dimensiones, etc.)	Simulación directa del diseño
Desarrollo relativamente sencillo	Relativa similitud de interfaz entre los diferentes softwares

**Fuente:** (Mikolajczyk , Malinowski, & Moldovan, 2019, pág. 35)

### 1.2.1 SOFTWARE DE DISEÑO CAD

Dentro de la concepción de un diseño y la producción de un determinado producto, hoy en día existen una variante de software digitales capaces de ayudar a mejorar y optimizar este tipo de procesos.

Las diferentes plataformas de diseño CAD, son pensadas precisamente, como un apoyo a las diferentes actividades de diseño y conceptualización de elementos (Geromin, Roucoules, Malburet, & Lopez, 2018, pág. 18). Es por ello que, dependiendo del tipo de software que se use, se podrá desarrollar modelos ya sea en dos (software que trabaja bajo un sistema vectorial de puntos, líneas, arcos y polígonos) o tres dimensiones (Al contrario del 2D, usa los vectores como base, pero su interfaz es más amigable para la manipulación del diseñador, ya que se trata del traslado casi literal de la idea del diseñador al ordenador ), lo que facilitará el análisis de los diferentes factores que influirán a posteriori en dicho diseño.

En base a la Tabla 1.7 se puede generar una idea de la amplia gama de posibilidades para el diseño y desarrollo de un determinado producto.

**Tabla 1.7** Softwares de diseño CAD

Usos	Industria			
	Autodesk, Inc.	Product development, PTC, Inc.	Dassault systems	Unigraphics solutions, UGS.
Diseño	AutoCAD	Pro Enginner	Catia	TeamCenter
Arquitectura y construcción	Autodesk VIZ	Pro/Mechanica	Ennovia	NX
Industria y fabricación	AutoCAD Mechanical	Pro/Desktop	Smarteam	SolidEdge
Infraestructura	Autodesk Map 3D	Division	Delmia	E-Factory
Visualizadores	Volo View	Granite One	Spacial	n/a
Colaboración	Autodesk Buzzsaw	Windchill	SolidWorks	n/a

**Fuente:** (Karkouch, Mousannif , & Al Moatassime , 2018, pág. 18)

### 1.2.2 SOLIDWORKS

Bajo este nombre, se menciona a SolidWorks uno de los software más versátiles y fáciles de manipular en cuestión de diseño de elementos o concepción de objetos (Magomedov & Sebaeva, 2019, pág. 20). SolidWorks cuenta con una interfaz fácil de entender que permite la estructuración de bosquejos en 2D, para transformarlos de manera casi automática a modelos 3D, pauta que permite la optimización de procesos de diseño con relación al tiempo. Gracias a su configuración también permite el traslado de documentos o proyectos a otro tipo de software de su plataforma base.

Como bien lo define el autor, el principio básico consiste en el traslado de la idea del diseñador al sistema CAD de manera casi inmediata, y en función de esta idea se menciona a través de la Tabla 1.8 algunas de las ventajas e inconvenientes de este software CAD.

**Tabla 1.8** Beneficios de usar SolidWorks

<b>SolidWorks</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Proporciona vista de los sólidos en dos y tres dimensiones	Precio relativamente elevado si se trata del paquete premium.
Reduce los tiempos de generación de modelos en comparación con los generados en softwares de 2 dimensiones.	
Crea cotas para una o varias entidades	Relativamente difícil de manejar.
Trabaja bajo normativas estandarizadas	

**Fuente:** (Dassault Systemes, 2014, pág. 18)

### 1.3. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO

El proceso de diseño deberá siempre estar basado en ciertas condicionantes que permitan que determinado modelo de producto pueda ser aceptado tanto a nivel nacional como internacional y para dicha necesidad se establecen precisamente las diferentes normativas que permiten el control de los diferentes aspectos que debe mantener el diseño y desarrollo de dicho producto.

#### 1.3.1. NORMATIVAS

- ANSI (American National Standards Institute). – Este es el cuerpo representante de Estados Unidos frente a la ISO, bajo el cual se rigen casi el 100% las industrias a nivel mundial, representa los intereses de unas 270.000 empresas y organizaciones y de aproximadamente 30 millones de profesionales (Bhatia & Russ, 2020, pág. 20).
- ASME (American Society of Mechanical Engineers). – Es la entidad colabora a la comunidad de ingenieros mecánicos a resolver problemas del mundo real, se trata de una organización sin fin de lucro que fomenta la colaboración a nivel de conocimiento y habilidades en todas las disciplinas de la ingeniería (Balkey, A, Guzmán, Webster, & Weinman, 2019, pág. 15). Además, esta comunidad recientemente faculto ISIE, entidad que pretende albergar a aquellas empresas que

pueden aportar a la comunidad de ingenieros con productos, servicios y tecnologías que permitan el crecimiento continuo de la rama ingenieril.

- ISO (International Organization for Standardization). – Se trata de una organización no gubernamental con membresía de 165 organismos nacionales de normalización que a través de sus colaboradores expertos puede desarrollar normativas consensuadas para el mercado en general y de esta manera alcanzar soluciones a las diferentes problemáticas globales (Yumkella & Bryden, 2010, pág. 13).
- INEN (Instituto Ecuatoriano de normalización). – Es la entidad que se encarga del establecimiento de pautas a cumplir en el desarrollo de tecnologías de diferente índole, para ello se base en una normativa madre de carácter internacional conocida como ISO (Medina, y otros, 2014, pág. 18). Por ello es la entidad encargada a nivel nacional de evaluar campos de normalización, metrología, evaluaciones de conformidad entre otros aspectos.

### **1.3.2. REQUERIMIENTOS MEDIOAMBIENTALES**

En este punto en general se toca un tema sumamente delicado y es la responsabilidad que tiene el ser humano con y para el medio ambiente ya que es precisamente que cada una de las personas logra sobrevivir, ahora bien en lo referente al mundo automotriz como bien lo menciona Hortensia (2013) “la industria del automóvil representa uno de los componentes más fuertes de la economía de un país ya que entre sus virtudes tiene la capacidad para albergar inmensas plazas de empleo a razón de que para la composición de un automotor como tal es necesario de un sinnúmero de procesos que requieren la colaboración de mucho personal” (p. 25).

Sin embargo, existe la otra cara de la moneda que refleja que ese mismo hecho de ser una industria tan poderosa y necesaria genera unas cantidades excesivas de contaminantes que están colaborando a la extensión de recursos por efecto mismo de la contaminación ya sea en el uso o en la producción de un automóvil.

## **1.4. MODELADO Y SIMULADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA**

El desarrollo de conceptos claros a la hora de establecer un modelo funcional para la conformación de un proceso de producción es una tarea que demanda en muchas ocasiones el uso de recursos de diferente índole, como el tiempo y factores económicos en general.

El sistema actual permite valerse de ayudas computacionales que faciliten el desarrollo de grandes proyectos sin necesidad de exageradas cantidades de inversión en materia de maquetas y malgaste de recursos en general (Vangi, Begani , Gulino, & Spitzhüttl, 2018, pág. 20).

Bajo este preámbulo se puede tomar palabra de Granrath, y otros (2020) quienes menciona que “la modelización y simulación deberá formar parte de un repertorio infalible a la hora de analizar sistemas multidisciplinares complejos ya que una de sus virtudes es la de dar soporte a cada una de las etapas de un proyecto, desde la parte conceptual de la idea hasta la implementación de la misma; sin desperdiciar en el proceso cantidades exageradas de recursos” (p. 20).

El objetivo principal será la implementación de una columna de apoyo (software de simulación) a la hora de diseñar, desarrollar y diagnosticar un sistema, componente o elemento ingenieril.

### **1.4.1. PAUTAS DEL MODELADO DE PROCESOS**

El modelado de procesos se define a través de una serie de pautas, que permiten la obtención de un trabajo final acorde a las necesidades de la industria (Kutin , Dolgov, Podkidyshev, & Kabanov, 2018, pág. 24).

#### **1.4.1.1. Evaluación y diseño**

Dentro de este subconjunto se establecerán cuatro fases que permitirán la obtención de un anteproyecto o proyecto piloto que logre abarcar las necesidades de la industria.

La primera correspondiente con la identificación del responsable del proyecto de simulación a fin de obtener el compromiso que el proyecto requiere por parte de la gerencia.

A partir de este punto se determinará como segundo punto las diferentes características del proceso que se pretende modelizar y la frecuencia con que se realizará las simulaciones, en el caso de que se trate de una reingeniería de procesos.

Como tercera parte se optará por la estatización de recursos a través de una planificación financiera que abarque tanto los costos para obtención de las herramientas de simulación como aquellos relacionados con su aplicación.

Finalmente, como punto más importante se evaluará y seleccionará la herramienta de simulación que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa.

#### **1.4.1.2. Ejecución del modelo**

Esta fase dará inicio, una vez se haya concluido con el modelo piloto que servirá de guía general para todo el proceso de modelado y al igual que su anterior proceso aquí se mencionan las siguientes etapas.

Como primer punto se tienen la definición del proyecto de simulación, mismo que abarcara las siguientes tareas:

- La primera en relación a los objetivos a los que se quiere llegar mediante el proceso de simulado, algunos de ellos suelen tener vínculos con analizar el funcionamiento de un determinado proceso en base a rendimiento y tiempos de espera, también suelen existir aquellos que buscan analizar la capacidad de un proceso en base a la capacidad máxima de procesamiento y por otro lado existen aquellos que buscan saber si el proceso es eficaz a la hora de afrontar retos especiales como la constitución de nuevos productos a través de maquinarias similares pero con diferentes variables.
- La siguiente parte basara su enfoque en la definición de las restricciones que deberá mantener el proyecto de simulación, el factor que más suele estar relacionado en esta etapa es el tiempo, ya que, según el autor, la simulación deja de tener sentido si el

plazo para su ejecución es demasiado extenso e imposibilita la resolución de determinado proceso.

- La parte fundamental de estas tres etapas será la definición del campo de actuación del modelo, ya que será aquí en donde se establezcan cosas como la extensión, el nivel de detalle y precisión, tipo de pruebas y la forma en la que los resultados serán presentados.

Como segunda etapa se presenta el análisis de los datos obtenidos, así que para ello se deberá realizar un filtrado por categorías de dichos datos en relación a diferentes variables, es así que se puede obtenerlos en función del tiempo, recursos y condiciones especiales, así que el autor sugiere que es bueno la práctica de un flujograma para la disgregación de este tipo de datos.

Como tercer punto se encuentra el desarrollo del modelo, la ventaja a recalcar en este tipo de procesos de modelado es la capacidad que tiene el diseñador para ir variando pequeñas características a lo largo del camino para la constitución del modelo final. Se recalca la importancia de la selección de la herramienta idónea para el modelado, ya que en este punto constituirá parte fundamental hacia la búsqueda del objetivo.

Finalmente se llega al proceso de verificación del modelo, mismo que consiste básicamente en el análisis de resultados, pruebas de corroboración de funcionalidad y entrega de datos finales o resultados.

#### **1.4.1.3. Mejora continua**

Esta se considera como la fase de retroalimentación, ya que es aquí en donde se podrá verificar el cumplimiento de los objetivos planteados, generalizar debates acerca de los detalles a mejorar y establecer pautas para una constante mejora del modelo final.

### 1.4.2. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando para mejor los diferentes lenguajes de programación a fin de facilitar el uso del usuario al momento de desarrollar un determinado modelado de procesos de producción y para que esto suceda se ha partido de los primeros simulados computarizados en la industria de defensa con técnicas análogas basadas en ecuaciones diferenciales EDOs y diagramas de bloques (Rivas J. , 2004, pág. 35).

Los primeros lenguajes en utilizarse en procesos de simulación fueron FORTRAN y Run On, y a partir de ahí y más tarde en la década de los 80 de la mano de Microsoft y su entorno operativo, se lograron modelos visuales interactivos a través de herramientas como Writness, Ithink y arena. A partir de este punto los lenguajes de simulación siguieron creciendo como el caso de Modsim y Simple ++, quienes permitían el uso de bibliotecas de objeto reutilizable.

A manera de resumen de historia se presentan en la Tabla 1.9 algunos de los hitos más importantes para el desarrollo de los procesos de simulación.

**Tabla 1.9** Desarrollo del proceso de simulación

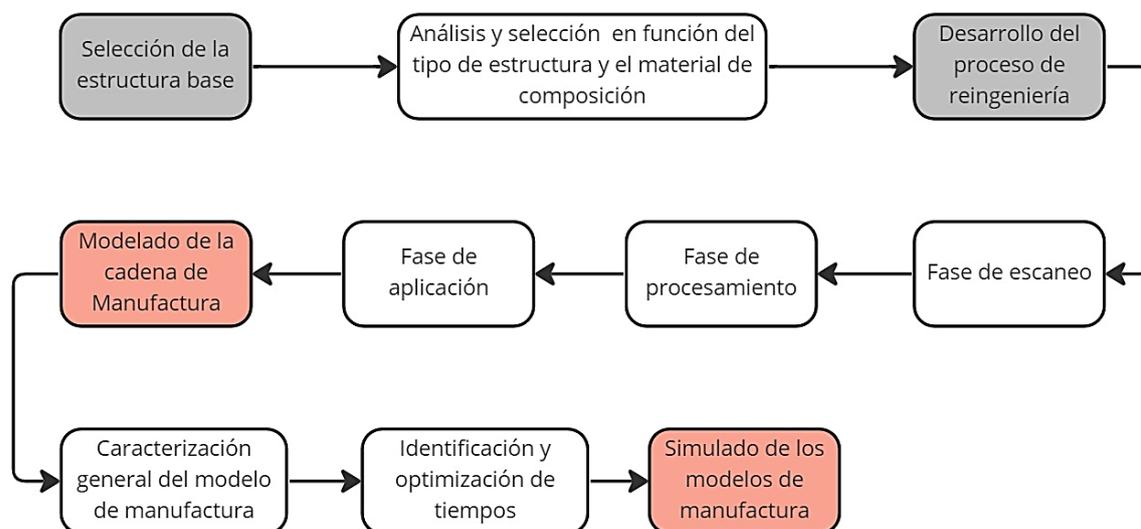
<b>Desarrollo</b>	<b>Dato histórico</b>	<b>Década</b>
Analizador diferencial mecánico y electrónico	Simulación con técnicas analógicas basadas en las EDOs.	50
La computadora digital logra emular un sistema análogo	Desarrollo de simuladores digitales y optimización de métodos numéricos	60
Métodos numéricos de integración con EDAs.	Desarrollo del método numérico para las ecuaciones diferenciales algebraicas.	70
Desarrollo de SystemBuild y sus integrantes: MATRIX, SIMULINK, VisSim, ACSL	Se desarrollan entornos de matrices. Se desarrolla lenguajes orientados al objeto. Equipos con altas prestaciones para un mejor simulado.	80
Desarrollo de otras herramientas y de Modelica, quien pretendía ser un formato estándar para las diferentes herramientas de simulado.	Aplicaciones multidisciplinarias. Desarrollo del simulado físico.	90

**Fuente:** (Rivas J. , 2004, pág. 35)

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

El apartado de la metodología abarca el cuerpo principal del trabajo de titulación, en este capítulo se menciona el proceso que se ha ejecutado para encontrar las soluciones a los diferentes objetivos propuestos.



**Figura 2.1** Metodología referencial del proyecto

La Figura 2.1 indica la metodología referencial de la cual se ha partido para el desarrollo del capítulo 3, en dicho cuadro se presenta el flujo de los procesos a desarrollar para cada uno de los temas principales.

#### 2.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA BASE PARA EL MODELADO CAD

Para el apartado de la identificación de la estructura base de la cual se partirá para el desarrollo del modelado CAD, se trabajará en función de la selección acorde a los siguientes criterios.

### 2.1.1 COMPARATIVA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA

A fin de encontrar el tipo de estructura del cual se partirá a manera de base para la conformación del modelo final, se ha de hacer uso de la Tabla 2.1 en la que se compara las ventajas e inconvenientes de las configuraciones autoportante y monocasco en función del porcentaje de acero en la estructura, el material y el número de elementos.

**Tabla 2.1** Comparativa en función de la estructura

<b>Tipo</b>	Monocasco de acero	Monocasco de aluminio	Autoportante de acero	Autoportante de aluminio	Autoportante compuesta
<b>Masa total del vehículo (Kg)</b>	315	188	302	188	235
<b>% de acero en la estructura (%)</b>	100	60	96	60	75
<b># total de piezas</b>	204	224	137	137	41

Fuente: (Rivas J. , 2004, pág. 35)

### 2.1.2. COMPARATIVA ESTRUCTURAL EN FUNCIÓN DEL MATERIAL

En el apartado anterior se ha gestionado una comparativa entre las estructuras autoportante y monocasco con el fin de buscar la mejor opción a la hora de seleccionar el tipo que se ha de usar en este trabajo, sin embargo. Para este apartado se indaga un poco más acerca de las estructuras, pero en función del material de composición.

Es por ello por lo que se presenta a continuación la Tabla 2.2 en base al estudio realizado por Rován (2020) en el que se analiza distintos materiales que son usados regularmente en la industria automotriz y se los categoriza en función de las siguientes variables (págs. 21-29).

**Tabla 2.2** Criterios de selección de materiales para la estructura final

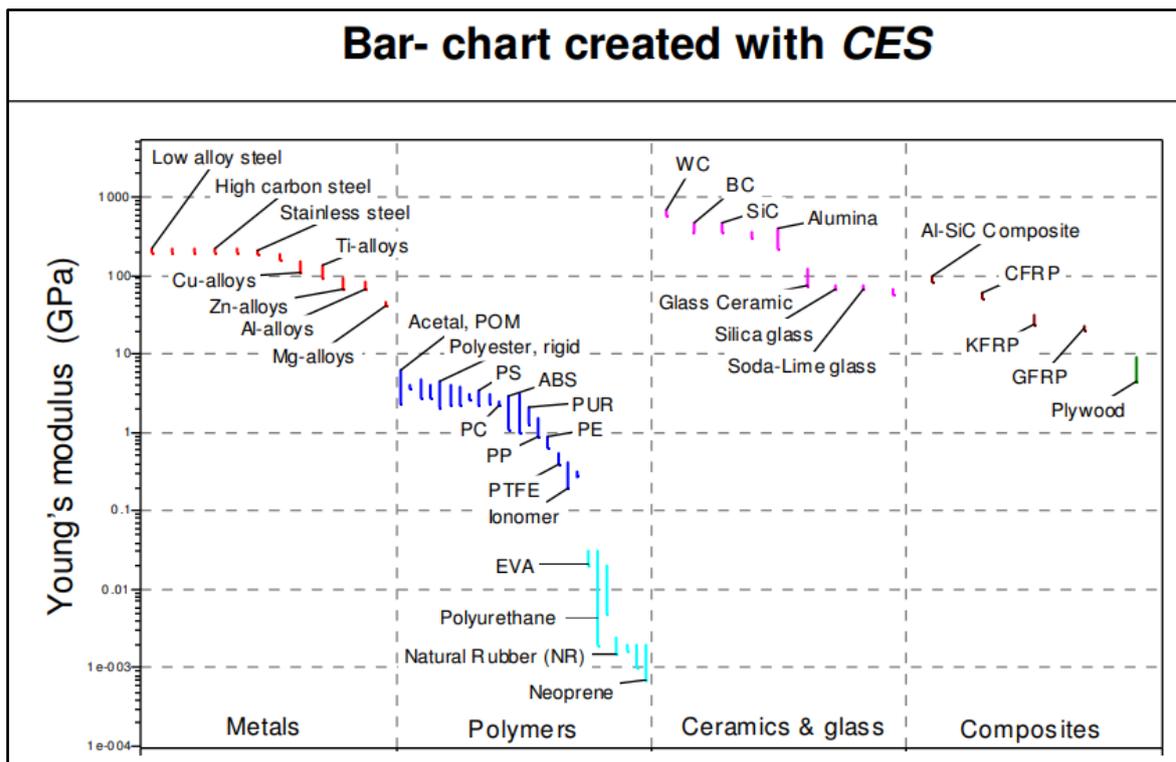
Criterios de selección	Material				
	Aluminio	Magnesio	CFRP	GFRP	Acero
<b>Confiabilidad</b>	3	3	5	5	5
Reciclabilidad	4	5	1	1	3
Costo	3	2	1	1	5
Peso	3	4	5	5	1
Durabilidad	4	3	5	5	5
Mantenimiento	3	2	1	2	5
Facilidad de uso	1	1	5	1	1
Límite elástico	2	1	5	5	5
Total (pts.)	23	21	28	25	30
<b>Notas:</b>					
<i>1: bajo / pesado / difícil / costoso</i>					
<i>2: alto / barato / ligero / económico</i>					

**Fuente:** (Rovan, 2020, pág. 28)

Como se puede apreciar existirán valoraciones finales acorde a las diferentes puntuaciones que puedan arrojar en conjunto cada material para la conformación estructural de un vehículo. Los valores y la selección de la mejor opción han sido dispuestos en el apartado de resultados.

### 2.1.3. SELECCIÓN MEDIANTE EL DIAGRAMA DE MICHAEL ASHBY

La metodología de selección a través de gráficos en los que se compara los diferentes familias de materiales acorde a las propiedades físicas de cada uno de ellos, ha sido patentada por Michael Ashby, y básicamente se trata de un proceso de selección por categorización y especificación de propiedades.



**Figura 2.2** Clasificación de la familia de materiales a través de CES Edupack

(GRANTA, 2010, pág. 4)

En la Figura 2.2 puede apreciar la ponderación por familias de los diferentes materiales, será en función de estos materiales que se ha de generar la gráfica para la selección de la mejor opción en cuanto a materiales se refiere, para el caso se usará los rangos de valoración entre para la densidad y el módulo de Young.

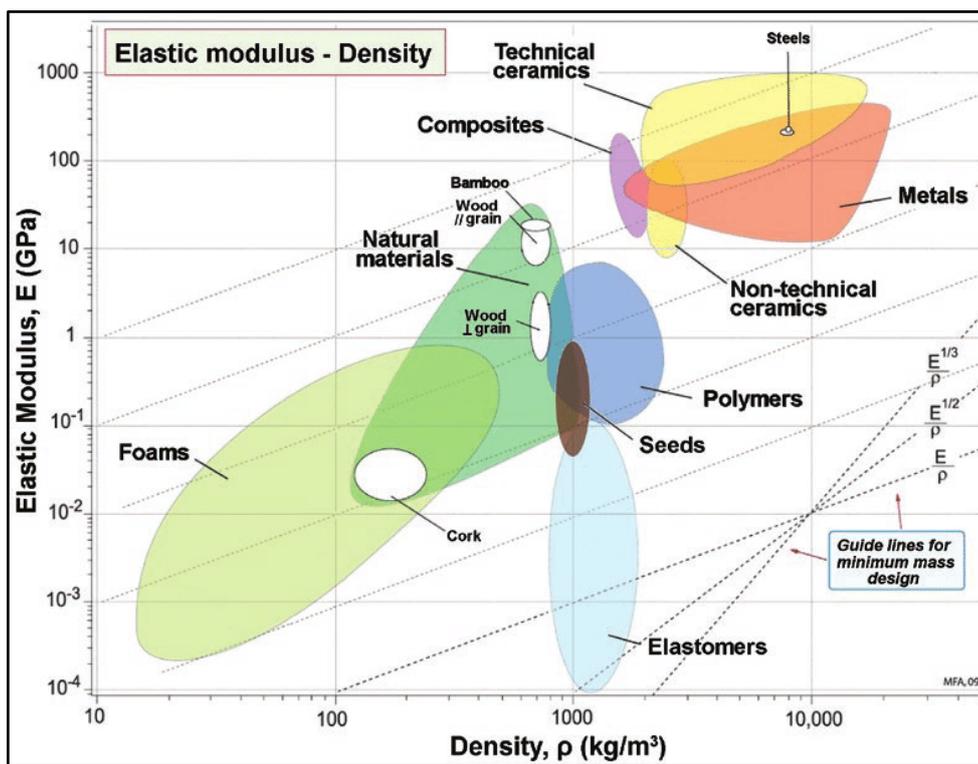
Una vez se ha identificado los posibles candidatos dentro del universo de materiales, se deberá utilizar los índices de reemplazo que se muestran en la Tabla 2.3 para utilizarlos como medio de discernimiento de materiales.

**Tabla 2.3** índices de selección de materiales

Índices de reemplazo (minimización)			
Pendiente	Volumen	Masa	Costo
pendiente de primer grado	$\frac{1}{E}$	$\frac{\rho}{E}$	$\frac{Cm. \rho}{E}$
pendiente de segundo grado	$\frac{1}{E^2}$	$\frac{\rho}{E^2}$	$\frac{Cm. \rho}{E^2}$
pendiente de tercer grado	$\frac{1}{E^3}$	$\frac{\rho}{E^3}$	$\frac{Cm. \rho}{E^2}$

Fuente: (CES Edupack, 2010, pág. 8)

El proceso siguiente estará enfocado en el uso de los dos recursos, tanto en el diagrama de Ashby como el uso de los diferentes índices de reemplazo.



**Figura 2.3** Diagrama de Ashby con la incorporación de las pendientes

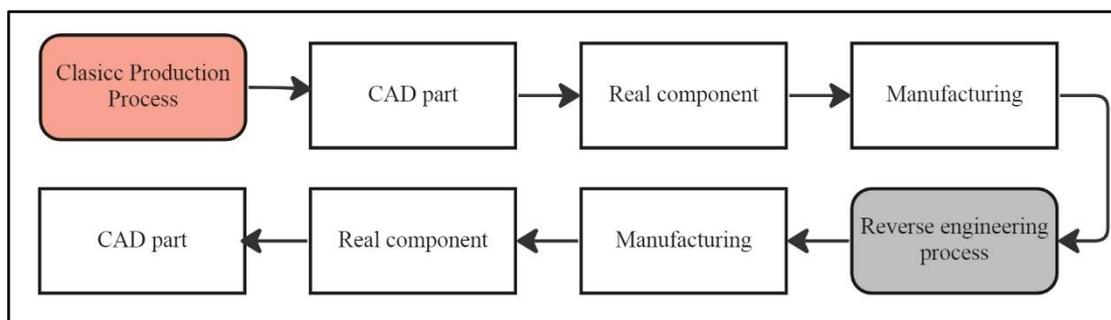
(Matew, 2018, pág. 22)

A través de esta metodología de selección se puede identificar que el mejor material se va a encontrar en la esquina superior izquierda, ya que es en esa zona en la que se encontraría un

material idóneo, pero como en la realidad no existe ese tipo material se puede hacer uso de las metodologías de acercamiento al ideal, en las que se trabaja a partir de las tres pendientes que se pueden apreciar en la Figura 2.3 y a través del desplazamiento de este tipo de pendientes es posible acercarse a la mejor opción del material a seleccionar para determinado proceso.

## 2.2. PROCESO DE REINGENIERÍA PARA EL MODELO CAD DE LA ESTRUCTURA AUTOPORTANTE

La reingeniería a nivel muy general se podría definir como los pasos opuestos a un proceso común de desarrollo de elementos, ya que para esta última se parte de un boceto(físico/digital) y se culmina con un elemento físico, mientras que para la reingeniería lo ideal es partir del objeto físico y culminar con un diseño digital en tres dimensiones.



**Figura 2.3** Proceso normal e invertido para la concepción de un vehículo

Puesto que el proceso de reingeniería ha sido pensado para la aplicación en las grandes empresas de producción, se ha desarrollado una serie de tres pasos lógicos que se debe usar para la ejecución de este tipo de proceso:

- Fase de escaneo. – Aquí se hará uso de las herramientas necesarias para la adquisición de datos del modelo real que se ha elegido
- Fase de procesamiento de puntos. – Esta fase consiste en la importación de los datos obtenidos desde las herramientas de sondeo y evaluación del modelo que se han usado en la fase anterior hacia el software CAD.
- Aplicación/Fase de desarrollo. – En este punto se han de digitalizar los puntos importados con anterioridad hasta el software CAD. Esta fase también servirá para

valorar determinados cambios dentro de la constitución de la pieza con la que se esté trabajando.

Dentro del tema de generación del modelo CAD se ha de trabajar los parámetros de dimensionamiento y generación del modelo en tres dimensiones, mismos que se desarrollan de la siguiente manera.

### **2.2.1. FASE DE ESCANEEO**

Para el desarrollo de este punto se ha tomado como referencia el modelo de escala real del Renault Twizy a razón de facilitar las etapas del diseño ya que se trata de un vehículo que se encuentra disponible dentro del campus universitario y por ende es más factible generar el proceso de acotado desde este tipo de modelo a escala real.

Para este punto se proceder de dos maneras, la primera sería a través del desensamble del vehículo Renault Twizy hasta encontrarse únicamente con la estructura portante y posterior a ello se generaría el dimensionamiento de cada elemento que formasen los diferentes marcos, haciendo uso de herramientas de medición como lo son flexómetros, calibradores y demás. Sin embargo, para el presente trabajo se ha de optar por la segunda opción en la que se deberá proceder con la adquisición de las diferentes dimensiones de la estructura portante a través de documentos oficiales proporcionados por la marca Renault acerca de su modelo Twizy.

### **2.2.2. FASE DE PROCESAMIENTO DE PUNTOS**

Se ha de trabajar bajo cuatro sub temas para el desarrollo del modelo CAD, en los cuales se gestionará todo el proceso a seguir para la generación del modelo autoportante final, mismos que se detallan de la siguiente manera.

### 2.2.2.1. Desarrollo de la primera silueta

Para la generación de los primeros trazos del modelo real haciendo uso del software CAD, se hace necesario la generación de una silueta inicial de la cual se partirá a manera de base para la construcción de cada subensamble que constituirá la estructura final.

Dicha estructura será trabajada con los recursos del croquizado en 2D, que se encuentran disponibles dentro del programa mismo. Es así como una vez se ha completa estos bocetos iniciales se podrá proseguir con la generación de cada subensamble de manera independiente.

La metodología que se ha aplicado en esta parte ha sido ejecutada a manera de calcado de las dimensiones del modelo base hacia el programa CAD, es decir, se ha aplicado los siguientes pasos:

- Establecer el tipo de croquizado a ejecutar, que para el caso del trabajo se ha optado por uno del tipo 3D ya que este permite la generación de una silueta en varias dimensiones (x, y, z) a la vez, lo que facilita la generación del primer concepto estructural, que en un inicio es lo que se busca.
- Selección de plano referencial, que para el caso ha sido “planta”, puesto que se ha pretendido crear el modelo a partir de sus dimensiones más generales y la selección de este plano ayuda a la causa.
- De la misma manera en que se trató el dimensionamiento del largo y ancho de la estructura, se ha de ejecutar para lo correspondiente al dato de la altura del vehículo, teniendo en cuenta siempre trabajar primero la mitad de la silueta para el final trasladar dicha hacia el otro lado con el uso del comando antes mencionado.
- Una vez se ha logrado trasladar con éxito las dimensiones generales otorgadas por la marca, el siguiente paso es contemplar la composición estructural interna del vehículo, para ello se hace necesario la adquisición de imágenes y documentos que permitan apreciar un poco más a fondo la estructura del Renault Twizy.
- Finalmente, y con los datos obtenidos, que para el caso del presente trabajo se los ha trabajado a partir de imágenes estructurales del modelo base, se ha de proceder con la conformación de las estructuras internas como travesaños y ciertos largueros que en un principio con el dimensionamiento superficial no han sido posible de graficar dentro de los trazos iniciales.

### 2.2.3. FASE DE APLICACIÓN

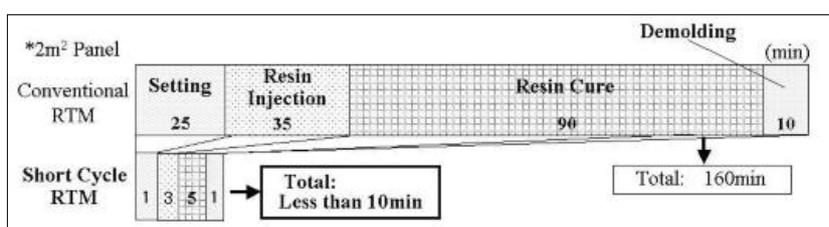
El procedimiento para el desarrollo de cada subensamble ha sido similar en varios aspectos, como el uso de tuberías cuadradas para la conformación de dichos, sin embargo, también ha sido necesario la incorporación de algunos comandos propios del software, siendo la metodología para este apartado la siguiente:

- Definición del número de subensambles que se han de conformar, para ello ha sido necesario tomar en cuenta la disposición del Body in White que trae el modelo Renault Twizy en su versión original, siendo básicamente un conjunto de estructuras portantes sobre las cuales se montan y se unen unas con otras a través de los diferentes sistemas de unión.
- Una vez se ha distinguido la manera en que está constituida la estructura, se podrá generar a través del software la silueta que hará un símil con la mencionada. Hay que tomar en cuenta que la generación a nivel industrial trae en la estructura perfiles, desniveles y siluetas que no se han calcado a razón de que el proyecto no tiene como punto principal el enfoque en dicho tema.
- La Primera estructura que se ha desarrollado es el Main Frame, se trata de la estructura principal que ha de hacer de base para soporte del resto de subensambles en ella se han de acoplar a través de las diferentes técnicas de ensamblado que se mencionan más adelante.
- La siguiente estructura por desarrollar será la encargada de servir de soporte ante cualquier impacto o colisión frontal, se trata del frontal Frame. Su conformación se la hace a través de elementos de aluminio y acero, se lo hace de esta manera ya que es necesario incorporar los dos materiales por sus respectivas bondades, el aluminio por su característica reducción de peso y el acero por su capacidad de resistencia ante los diferentes impactos.
- La tercera estructura en constituirse será Rear Frame, que al igual que el Frontal Frame se lo ha de conformar en base al acero y aluminio, y de igual manera tendrá esta configuración por las bondades ya expuestas, que entre otras cosas se encarga de brindar soporte de impacto en caso de colisión por alcance, además, será en esta estructura en donde se aloje el mecanismo de impulso del vehículo, ya que será aquí en donde se ha de colocar el motor eléctrico, además del sistema de energía secundario.

- Como cuarta estructura se ha de desarrollar los roof rails, que son básicamente la configuración entre los rieles superiores de un vehículo y sus respectivos pilares (A, C) y que posteriormente se han de incorporar a los paneles de fibra de carbono para conformar una estructura del techo.
- Finalmente se procede con el desarrollo de los soportes de suspensión, que para el caso se ha desarrollarlo a través del corte y soldado de planchas de aluminio. Serán estos elementos los que se encarguen de dar alojamiento a los elementos principales del chasis.

### 2.2.3.1. Desarrollo de las estructuras a base de CFRP

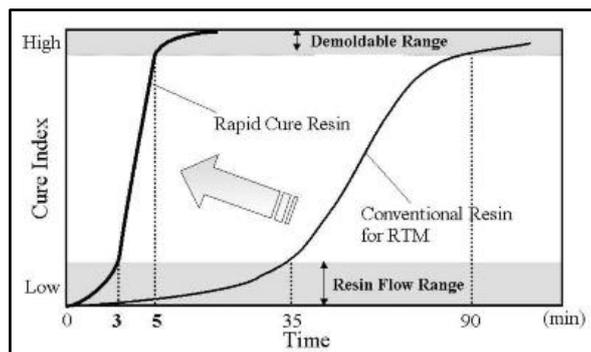
Para la conformación de una estructura a base de fibra de carbono ha de ser necesario la fabricación de moldes, proceso que se conoce como RTM (transferencia de resina por moldeo), en los que se ha de generar las diferentes superficies y siluetas que se han de disponer en el previo diseño de la estructura. En una factoría por lo general se cuenta con maquinaria en la que se ubica la parte inferior y superior del molde y luego se genera el llenado de la fibra de carbono acorde a las diferentes disposiciones, sin embargo, en este punto se han de mencionar dos nuevas tecnologías que permiten modificar el procesado y tiempo de procesado de las diferentes partes que se han de conformar por materiales compuestos:



**Figura 2.4** Comparativa del proceso de conformación de CFRP

(Kitano, Wadahara, & Taketa, 2008, pág. 14)

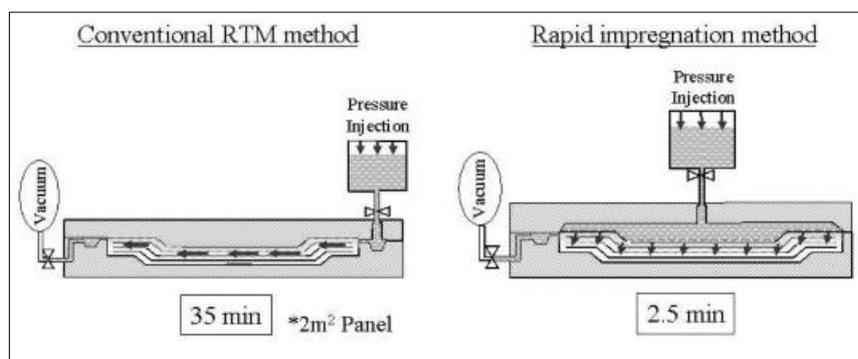
- Resina de curado rápido. – Se trata de una tecnología en la que la resina se impregna en una tela seca lo que disminuye como se aprecia en la Figura 2.4 los tiempos de inyección y de curado de manera drástica, se puede decir que el nuevo proceso es capaz de lograr hasta un acorte de 15 veces menos en comparación al método tradicional (Kitano, Wadahara, & Taketa, 2006, pág. 16).



**Figura 2.5** Relación entre procesos de conformación de CFRP, respecto al tiempo de curado

(Kitano, Wadahara, & Taketa, 2008, pág. 25)

El tiempo de curado también es drásticamente reducido como se aprecia en la Figura 2.5 respecto a la metodología convencional y esto se debe a que esta tecnología cuenta con una polimerización iónica que permite bajar la viscosidad de la fibra para que el tiempo de llenado sobre la tela sea apenas de 3 min para que solo 2 minutos después sea producido el mecanismo de curado.



**Figura 2.6** Diferencias entre el método convencional de inyección y el de rápida impregnación

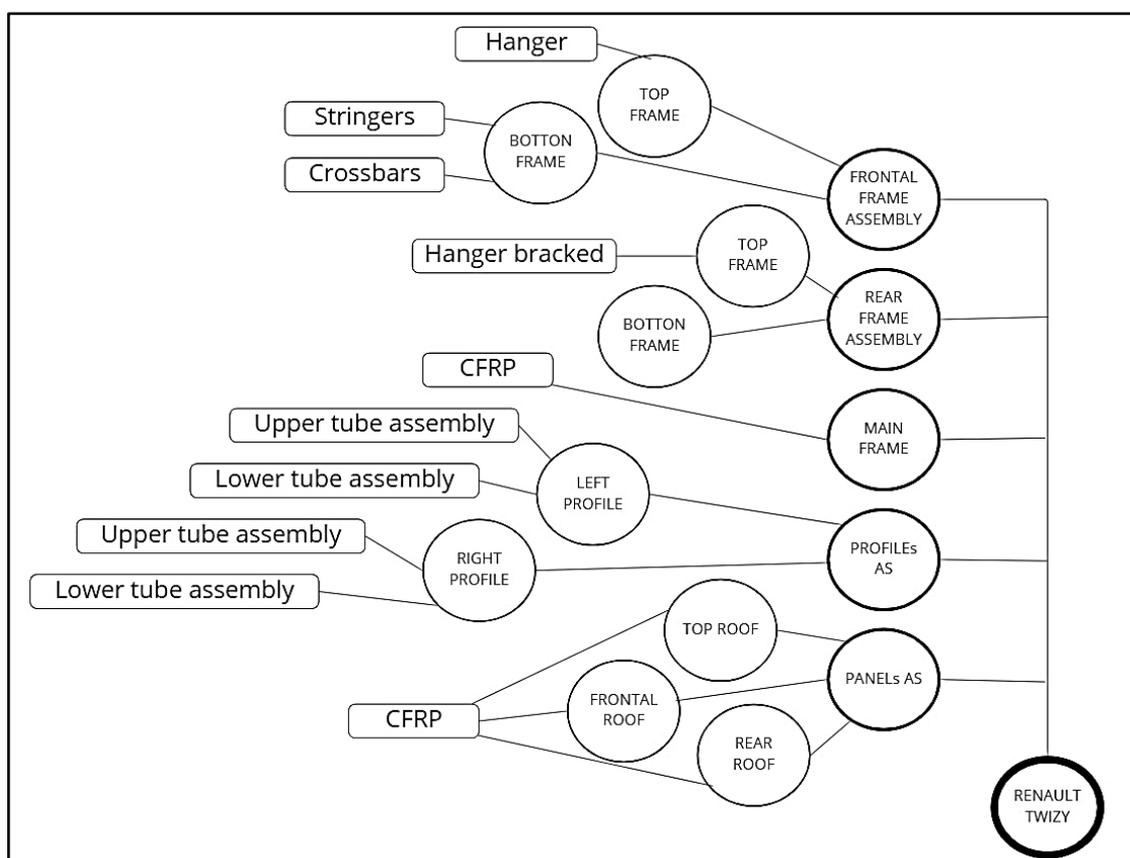
(Kitano, Wadahara, & Taketa, 2008, pág. 20)

- De impregnación rápida. – El siguiente método se compara con el método tradicional en base a la forma en la que se introduce el compuesto de fibra hacia el molde de la estructura acorde a la Figura 2.6. La nueva tecnología presenta un mecanismo de inyección de puerta múltiple en donde la impregnación va a depender del espesor de la tela (molde).

Sin embargo, no hay que dejar de lado el método convencional ya que es más adecuado a la hora de conformar estructuras que involucran trazos complicados y especiales, generalmente con el método convencional se dice que se han de fabricar unas 30000 unidades por año

### 2.2.3.2. Modelo autoportante final

Como complemento indispensable para el apartado de modelado CAD es necesario identificar los elementos y los diferentes subensambles de los que constara la estructura portante final, a razón de ello se presenta un cursograma en el que se detalla el proceso de conformación estructural para cada modelo.



**Figura 2.7** Proceso de ensamblaje del modelo autoportante Para una estructura compuesta

Como se logra aprecia en la Figura 2.7 los diferentes subensambles tienen procesos parecidos de conformación de cada elemento o conjunto de elementos, y de igual manera el modelo final de la estructura para el Renault Twizy solo será factible de conseguir si cada

uno de los subensambles se encuentra desarrollado, puesto que una estructura dependerá de otra para obtener un modelo ideal.

## **2.3. MODELADO DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN**

Dentro del apartado del modelado de la cadena de producción se ha desarrollado los diferentes cálculos que han de servir de guía para la generación de la línea de producción dentro de la cual se ha de desarrollar la estructura autoportante trabajada en el apartado de generación del modelo CAD.

### **2.3.1. TIPOS DE ENSAMBLAJE**

En términos de ensamblado de componentes existen un total de 2 metodologías que se han de usar dentro de una factoría a la hora de ejecutar este tipo de procesos, dichas se mencionan a detalle a continuación:

#### **2.3.1.1. Ensamblaje estático (en el banco)**

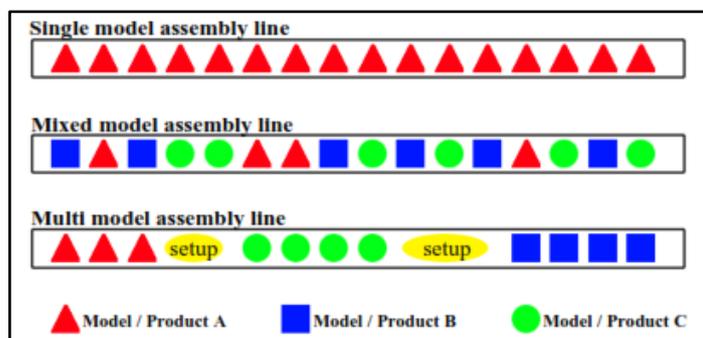
Se trata de un sistema de ensamblaje en desuso en el que básicamente se mantiene determinada estructura principal en un banco, mientras el resto de los subensambles o componentes llegan y se adjuntan para la conformación del modelo final.

#### **2.3.1.2. Línea de ensamblaje**

Impulsada por Henry Ford, se trata de una idea en la que la estructura principal de cierto vehículo transita a lo largo de las diferentes estaciones para ser montada paulatinamente de acuerdo con el tipo de estación en la que se encuentre y el tipo de componente a instalarse, si se analiza de manera breve se diría que es la idea opuesta al ensamblaje estático.

### 2.3.2. TIPOS DE LÍNEA DE ENSAMBLAJE

Dependiendo de la estrategia de producción la línea de ensamblaje adquirirá una u otra configuración, teniendo entre las posibilidades las siguientes:



**Figura 2.8** Caracterización de los tipos de ensamblaje

(Torenli, 2009, pág. 9)

Como se puede apreciar en la Figura 2.8 se tiene un total de 3 tipos de líneas de ensamblaje, acorde al tipo de elementos que ellas se vayan a procesar.

#### 2.3.2.1. Ensamble de un solo modelo

Dentro del proceso de producción se estandariza los mismos procesos para todas las unidades que se producirán, se desarrollarán en el mismo lapso y sin ningún tipo de modificación entre modelos.

#### 2.3.2.2. Ensamble del tipo mixto

Sin necesidad de modificar la estructura de la línea de producción, mediante este tipo de proceso se pueden desarrollar varios tipos de modelos con características similares, pero no idénticas, que pueden variar en cuestiones de tiempos y materiales para su fabricación.

### **2.3.2.3. Ensamblaje multi modelo**

Caso contrario al ensamble del tipo mixto, para el ensamblaje multi modelo si es necesario modificar la estructura de la línea de ensamblaje para producir modelos con características diferentes los unos de los otros, es por eso que en este caso se hace uso de lotes diferentes para el desarrollo de los diferentes modelos dentro de una misma factoría.

### **2.3.3. METODOLOGÍAS DE UNIÓN**

Dentro del proceso de ensamblado de cualquier tipo de factoría existen procesos de ensamblaje bien definidos y que se establecen a razón del tipo de elementos o componentes para los cuales ha sido pensado dicho proceso, es así que a nivel convencional se tiene los procesos mencionados en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Comparativa de entre las diferentes metodologías de ensamblaje

<b>TIPO DE JUNTE</b>	<b>(M)/ (A)/ (B)</b>	<b>Tipo de materiales</b>	<b>Distorsiones por calor</b>	<b>Aplicaciones de corte</b>	<b>Tiempo de soldado</b>	<b>Propiedades de sellado</b>
<b>soldadura por punto</b>	B	mayoría de metales	SI	NO	1-2 s/weld	2
<b>soldadura por arco</b>	B	mayoría de metales	SI	SI	hasta 4 m/min	1
<b>soldadura por rayo laser</b>	A	mayoría de materiales	SI	SI	hasta 10 m/min	1
<b>Soldadura por pulso magnético</b>	A	metales	NO	NO	2-10 s/weld	1
<b>soldadura por láser remoto</b>	A	mayoría de materiales	SI	SI	1-10 m/min	1
<b>unión adhesiva</b>	A	mayoría de materiales	NO	NO	variable	1
<b>remaches autoperforantes (SPRs)</b>	B	metales y plásticos	NO	NO	hasta 10 s/rivet	2
<b>Soldadura por fricción</b>	A	mayoría de materiales	NO	NO	hasta 1 m/min	1
<b>Clinchado</b>	A	mayoría de metales	NO	NO	hasta 10 s/weld	1
<b>Soldadura fuerte</b>	B	mayoría de metales	SI	NO	hasta 1,6 m/min	1

*M: manual/A: automático/B: ambos*

*1: muy bueno(alto)/2: bueno(medio)/3: malo(bajo)*

Fuente: (Michalos, Papakostas, & Mourtzis, 2010, pág. 29)

Además, se puede categorizar los procesos de unión acorde las nuevas variables que se presentan en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Comparativa de las metodologías de ensamblaje bajo nuevos criterios

Tipo de junte	Costo	Proceso amigable con el ambiente	Elementos extra	Consumibles	Flexibilidad	Superficie de soldadura
soldadura por punto	1	3	NO	SI	media	S
soldadura por arco	2	3	SI	SI	alta	D
soldadura por rayo laser	3	2	SI	SI	alta	D
Soldadura por pulso magnético	3	1	NO	NO	media	N
soldadura por láser remoto	3	2	NO	NO	alta	D
unión adhesiva	2	3	SI	NO	media	N
remaches autoperforantes (SPRs)	2	2	NO	SI	media	P
Soldadura por fricción	1	1	NO	NO	media	D
Clinchado	1	2	NO	NO	media	F
Soldadura fuerte	3	3	SI	SI	alta	D

*S: puntos específicos/D: deformaciones/P: proyecciones/F: proyecciones planas/N: sin cambio*

*1: muy bueno(alto)/2: bueno(medio)/3: malo(bajo)*

Fuente: (Michalos, Papakostas, & Mourtzis, 2010, pág. 30)

#### 2.3.4. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FACTORÍA

Antes de establecer una planta de producción para determinado tipo de producto, es necesario valorar algunas características esenciales que ha de tener dicha a fin de gestionar esta última de la mejor manera; es así como se mencionan los datos más importantes a tener en cuenta para el caso de implementar una en el ámbito automotriz.

### 2.3.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS DATOS GENERALES PARA EL PROCESO DE MANUFACTURA

Los datos generales serán extraídos de los documentos de investigación acorde a las diferentes necesidades de modelado en función del tipo de características que se desee alcanzar con cada configuración de las diferentes estaciones, procesos y etapas. Dichos se presentan en Tabla 2.6 y serán usado como base para el inicio del modelado de cada una de las dos configuraciones que se han pensado en desarrollar en el documento actual.

**Tabla 2.6** Datos de partida para la caracterización de la factoría

<b>Datos</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
<b>Demanda</b>	10	und/jornada
<b>Tiempo de turno</b>	480	min
<b>Pausas</b>	43,2	min/jornada
<b>Disponibilidad de maquinas</b>	90	%
<b>Porcentaje defectuoso</b>	5	%

**Fuente:** (Cascante, Alulema, & Mariño, 2019, pág. 12)

#### 2.3.5.1. Estándar de tiempo

Se define como el tiempo requerido para producir un artículo en una estación de manufactura acorde a las siguientes condiciones:

- 1.- Operador calificado y capacitado, mismo que deberá tener experiencia en el campo en el que se vaya a desempeñar.
- 2.- Manufactura a ritmo normal, que a nivel general suele tener un valor de 100% como ritmo normal.
- 3.- Desarrollo de una tarea específica, que como su nombre lo dice, es básicamente el conjunto de pasos detallados para el desarrollo de una tarea específica.

Existen estándares de tiempo que van a variar acorde a los minutos estándar, horas estándar, unidades por hora y unidades por ocho horas; estos valores son los que han de permitir

determinar la cantidad de tiempo del que se va a disponer acorde a las unidades que se quiera fabricar en dicho lapso.

Los minutos estándar suelen venir pre establecidos para una factoría ya instalada, es decir, se tiene contabilizado la duración exacta para el desempeño de determinada actividad, es por ello que para el primer modelo se partirá del trabajo de (Ortega & Carillo, 2018, págs. 289-305) en el que se menciona los estándares de tiempos mostrados en la Tabla 2.7 acorde a los diferentes procesos de ensamblaje que se llevaran a cabo para el caso de este modelo de manufactura.

**Tabla 2.7** Referenciales de estándares acorde al balancea del Great Wall M4

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo(seg.)</b>
<b>Primer proceso</b>	3914
<b>Segundo proceso</b>	3787
<b>Tercer proceso</b>	2493
<b>Cuarto proceso</b>	2317
<b>Quinto proceso</b>	1878
<b>Sexto proceso</b>	1736
<b>Séptimo proceso</b>	564

**Fuente:** (Ortega & Carillo, 2018, págs. 289-305)

Por otro lado, la Tabla 2.8 muestra la selección de los minutos estándar acorde a la cantidad de unidades a producir en jornada de ocho horas que se ha de usar para la configuración del segundo modelo de cadena de producción (Meyers, 2006, pág. 53).

**Tabla 2.8** Referenciales de estándares de tiempo

Minutos estándar	Horas estándar	Unidades por hora	Unidades por 8 horas
480	8,000	0,13	1,0
240	4,000	0,25	2,0
160	2,667	0,4	3,0
120	2,000	0,5	4,0
96	1,600	0,6	5,0
80	1,333	0,8	6,0
70	1,167	0,9	6,9
60	1,000	1,0	8,0
50	0,833	1,2	9,6
48	0,800	1,2	10,0
45	0,750	1,3	10,7
40	0,667	1,5	12,0
38	0,633	1,6	12,6
35	0,583	1,7	13,7
32	0,533	1,9	15,0
30	0,500	2,0	16,0
28	0,467	2,1	17,1
26	0,433	2,3	18,5
25	0,417	2,4	19,2
24	0,400	2,5	20,0
23	0,383	2,6	20,9
22	0,367	2,7	21,8
21	0,350	2,9	22,9
20	0,333	3,0	24,0
19	0,317	3,2	25,3
18	0,300	3,3	26,7
17	0,283	3,5	28,2
16	0,267	3,7	30,0
15	0,250	4,0	32,0
14	0,233	4,3	34,3
13	0,217	4,6	36,9
12	0,200	5,0	40,0
11	0,183	5,5	43,6
10	0,167	6,0	48,0

**Fuente:** (Mayers & Stephens, 2006, pág. 20)

El estándar de tiempos y su correcta valoración dará paso para el cálculo de la mayoría de los datos que se han de tomar en cuenta a la hora de instaurar la factoría, dichos son los siguientes.

### 2.3.5.2. Takt time

Hace referencia a la rapidez con la que se debe producir determinado elemento en la planta de producción, su valor viene dado por la siguiente Ecuación 2.1. Cabe mencionar que suele denominarse a este valor como el tiempo de ciclo necesario para la producción de un producto.

$$R = \frac{Tjr}{Pr} \quad [2.1]$$

Donde:

*Tjr*: Tiempo de jornada

*Pr*: Producción requerida

### 2.3.5.3. Producción requerida

Aunque dentro de un proceso lo ideal sería no generar tiempos muertos, en la práctica no ocurre de esta manera, ya que se deberá siempre tener en cuenta valores de descanso para el personal y porcentajes de desperdicios que se suelen generar en los procesos de manufactura, es por ello que la Ecuación 2.2, permitirá identificar dichas variables para encontrar el valor real de la producción requerida.

$$Pr = \frac{uP \cdot \% def}{100 \%} + uP \quad [2.2]$$

Donde:

*uP*: Unidades a producir

*% def*: Porcentaje de componentes defectuosos

#### 2.3.5.4 Tiempo de jornada real

Se define como el lapso de tiempo real que estará disponible para la ejecución del proceso de manufactura, este será calculado a través de la Ecuación 2.3, este valor será indispensable de encontrar precio al cálculo del tiempo de ciclo.

$$T_{jr} = (T_j - T_{np}) \cdot D_{maq} \quad [2.3]$$

Donde:

$T_j$ : Tiempo de jornada

$T_{np}$ : Tiempo no productivo

$D_{maq}$ : Demanda de maquinaria

#### 2.3.5.5. Número de estaciones

Para determinar su valor será necesario conocer el número de piezas que se han de facturar por turno y el tiempo estándar que ha de necesitarse para la producción de dichas unidades, siendo la Ecuación 2.4, aquella que permitirá el cálculo de su valor.

$$N_{est} = \frac{\sum T_e}{R} \quad [2.4]$$

Donde:

$T_e$ : Tiempo estándar

$R$ : Tasa de producción de la planta/tiempo de procesamiento

Si el valor obtenido es decimal, lo ideal siempre es redondear al número siguiente, ya que si se lo hace al valor anterior se generará un cuello de botella dentro del proceso de producción puesto que siempre faltaría maquinaria para la demanda de producto.

Además, cabe mencionar que el resultado de esta ecuación también ayudará a encontrar el número de empleados a contratar, ya que por lo general se designará a un operario por estación y en base a la diferencia que exista entre el tiempo estándar y el tiempo de ciclo se deberá aumentar el número de operarios para la ejecución de determinada tarea.

### **2.3.5.6. Eficiencia en la línea**

Se trata del valor porcentual de eficiencia que se obtendrá para determinada línea de producción, dicho valor va a depender mucho del tiempo de ciclo y la configuración de estaciones que se haya utilizado, para el cálculo de su valor se deberá usar la Ecuación 2.5, que viene estructurada de la siguiente manera.

$$\eta L = \frac{Te}{NrT.R} \quad [2.5]$$

Donde:

$Te$ : Tiempo estándar

$NrT$ : Número real de técnicos

$R$ : Tiempo de ciclo

### **2.3.5.7. Metodología de optimización**

Una vez se ha dispuesto de la cadena de producción de la estructura autoportante, es recomendable generar modelos de optimización que permitan en determinadas circunstancias mejorar uno u otro atributo de la factoría.

Para ello se suele hacer uso de varias metodologías de optimización acorde a las necesidades de la factoría y del personal de administración de estas, será factible la incorporación de cualquiera de estas metodologías en función de la variable que se desee mejorar (Belfiore, Falcone, & Silvestri, 2018, pág. 24).

En este documento se trabajará un proceso de optimización en el que el cálculo del ciclo de trabajo y la variación de su valor, jugarán el papel fundamental a la hora de aumentar o disminuir la eficiencia de la factoría en general, para su cálculo se hará uso de la Ecuación 2.6, en la que se identifican las siguientes variables.

$$newR = R - TnA \quad [2.6]$$

Donde:

$R$  : Tiempo de ciclo

$TnA$  : Tiempo no asignado

El valor del tiempo no asignado se generará en función del mínimo de tiempo que se desperdicie en las diferentes estaciones de trabajo.

A partir de este cálculo inicial se podrá trabajar en las diferentes alternativas de optimización ya que al disminuir el valor del tiempo de ciclo se podrá mejorar en la eficiencia de la línea, el tiempo de jornada disponible y la cantidad de unidades por jornada que se producirán.

#### **2.3.5.8. Costos de manufactura**

Para el cálculo del precio que ha de tener un determinado producto post proceso de manufactura, será necesario determinar los diferentes costos de operación acorde al porcentaje que se sugieren en la Tabla 2.9 en la que se aprecia que aproximadamente el 93% del total del producto se determina en base a los diferentes costos de operación, sean directos o indirectos y apenas el 7 % del total será usado como margen de utilidad o ganancia.

**Tabla 2.9** Cálculo de costos para el precio de distribución de un producto

		<b>% común</b>
<b>Costos de manufactura 50%</b>	Mano de obra directo	8
	Materiales directos	25
	Costos indirectos	17
Mas		
<b>Costos indirectos 50%</b>	Costos de ventas y distribución	15
	Publicidad	5
	Indirectos de administración	20
	Ingeniería, 50%	3
	Utilidad	7
		<b>100</b>

Fuente: (Mayers & Stephens, 2006, pág. 25)

### 2.3.5.8 Precio de un prototipo funcional

Para el cálculo del valor de venta de un prototipo funcional se usará la Ecuación 2.7, en la que se valora tanto el gasto general para el desarrollo de la estructura en cuestión y el porcentaje de utilidad que se quiere alcanzar.

$$\text{Precio del producto} = \text{Gasto total} + \text{utilidad} \quad [2.7]$$

Para el caso se ha de trabajar con una utilidad (ganancia) del 30%, ya que los diferentes textos en cuestiones de administración mencionan que un rango usual de utilidad para un producto suele oscilar entre el 20% y el 30%.

### 2.3.6. GENERACIÓN DEL LAYOUT DE LA FABRICA

Quizá la parte más importante a la hora de pensar en la idea generar una planta de producción, es la distribución que ha de tener cada estación, cada trabajador y cada bloque dentro de la misma. Es aquí donde se hace necesario el desarrollo de un plano general que

permita obtener una previa de lo que se va a nivel de distribución en el futuro, a este tipo de plano se lo denomina de manera muy general como layout.

Para el caso del presente trabajo se ha de referenciar el layout mediante otros trabajos similares en la que la disposición de las diferentes áreas está bien definida, sin embargo, también se ha pensado acorde a la necesidad y la distribución de la planta estaría destinada de la siguiente manera:

#### **2.3.6.1. Taller de Desarrollo**

En este bloque se gestionará todo lo relacionado a la fabricación de la estructura principal a base de fibra de carbono (material compuesto), será aquí en donde se realice todas las operaciones de moldeo que han de necesitar para la conformación de la mencionada estructura.

#### **2.3.6.2. Taller de ensamblado**

➤ Principal

Al tratarse de la parte principal dentro del trabajo actual, mantendrá el área mayor dentro de la línea de producción, será en este bloque en el que básicamente se constituirá la estructura madre del modelo Renault Twizy.

➤ Secundario

Básicamente estará constituido por todas esas áreas en las que se va a trabajar los subensambles que a posteriori se adjuntara a la estructura principal, será en estos bloques en donde se realicen las operaciones de ensamblado acorde a la combinación de elementos, por ejemplo, se ha de unir la estructura a base de aluminio con el acero inoxidable por efecto de la soldadura por arco.

### **2.3.6.3. Taller de materia prima**

Este será el espacio pensado para el arribo y posterior distribución de toda la materia prima para la conformación de la estructura a base de aluminio y acero, este espacio debe considerarse vital a la hora de iniciar el proceso de producción

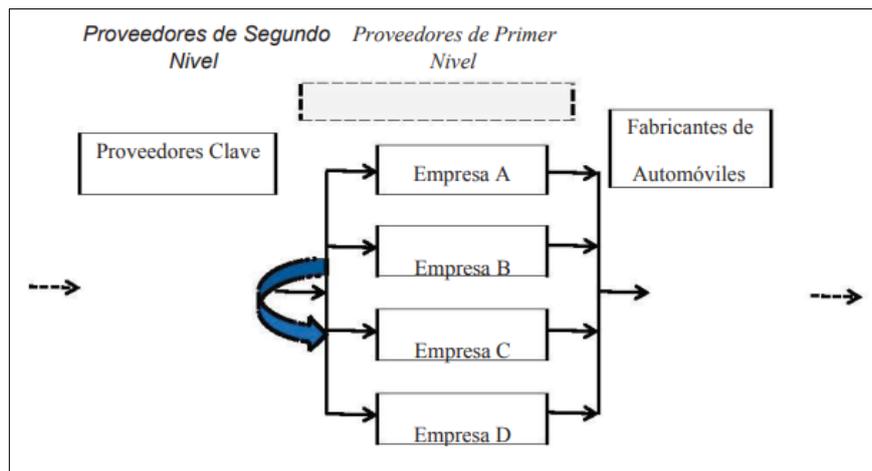
### **2.3.6.4. Espacio de almacenamiento**

En vista de que se trata de un trabajo de optimización, lo que se ha pensado es la aplicación de la idea de JIT, que en otras palabras significa la generación de un producto con la mitigación máxima de espacios de almacenamiento a fin de crear una producción(lean) más limpia a la hora de trabajar en el desarrollo de las estructuras.

### **2.3.6.5. Proveedores**

Como es de suponer, ninguna factoría se dedica a la creación del 100% de los componentes que se usan dentro de determinado elemento, siempre será necesaria la presencia y ayuda de los diferentes tipos de proveedores quienes se encargaran de otorgar las materias primas y la mayoría de las piezas, si tratase de una planta de ensamble y un de fabricación respectivamente.

Bajo estas características se pueden encontrar proveedores determinados por su nivel de importancia a la hora de otorgar los diferentes elementos a determinada planta de producción.



**Figura 2.9** Funcionamiento de los proveedores de primer y segundo nivel respecto a una factoría

(E & Vivaldini, 2015, pág. 43)

- Proveedores de segundo nivel. - Generalmente dentro de este nivel se encuentran aquellos distribuidores que se encargan de otorgar elementos sustanciales para la conformación de ciertos subensambles, como es el caso de X proveedor que puede otorgar cierto número de pistones para que los proveedores de primer nivel los ensamblen y conviertan en un bloque de motor, tal y como se muestra en la Figura 2.9.
- Proveedores de primer nivel. – Siguiendo con el ejemplo anterior, para el caso de los de primer nivel, serán quienes una vez han adquirido los pistones X podrán conformar N cantidad de bloques de motor y a posteriori conformarlos en un motor Y, para finalmente distribuirlos a la planta de producción para la cual se han pensados dichos motores, planta en la cual se han de montará con el resto de los subensambles en un determinado vehículo que la fábrica venderá a los consumidores.

En la Tabla 2.10 se muestran los proveedores de primer nivel para el caso de Brasil que han de desarrollar diferentes procesos para la conformación de piezas u elementos que las fábricas automotrices necesitan para la conformación de un automotor.

**Tabla 2.10** Ejemplos de compañías proveedoras de primer nivel

<b>Ítem</b>	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>	<b>Empresa D</b>
<b>Origen</b>	Brasil	Alemania	Alemania	Bélgica
<b>Número aproximado de empleados</b>	400	1000	300	160
<b>Sector industrial</b>	Metalúrgico	Electromecánico	Mecánico	Químico
<b>Principales productos</b>	Piezas fundidas	Sistemas electrónicos	Helicoidales y muelles	Convertidores catalíticos
<b>Exclusividad en el suministro de los fabricantes de automóviles</b>	Si, para menos del 50% de los elementos suministrados	Si, para más del 50% de los elementos suministrados	Si, para más del 50% de los elementos suministrados	Si, para más del 50% de los elementos suministrados
<b>Origen de los proveedores de segundo nivel</b>	La mayoría son nacionales	La mayoría son nacionales, excepto para los componentes electrónicos	La mayoría son nacionales	Nacionales y extranjeros por igual

Fuente: (E & Vivaldini, 2015, pág. 25)

## 2.4. SIMULACIÓN DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN

Como cuarto y último punto, se presenta el proceso de simulación. Será aquí donde se visualice y además se evalúe el nivel de acertamiento de las ecuaciones usadas para la generación del modelo de la cadena de producción, además será de aquí en donde se incorpore el lenguaje Sim Talk que es propio del programa de simulación de plantas de Siemens.

### 2.4.1. DESARROLLO DEL PRIMER MODELO

Para la generación del primer modelo se ha hecho uso de un total de 10 estaciones de trabajo, valor que ha sido obtenido del cálculo antes expuesto. Distribuidas a manera de cadena de producción de tal forma que se ha de conformar las 10 unidades establecidas en un tiempo de trabajo de 8 horas.

Para este primer modelo se ha caracterizado a la factoría de tal forma que solo la materia prima del Main Frame tenga la posibilidad de conformarse por la metodología de transferencia de moldeo y que posteriormente se ha de ir ensamblando en cada una de las estaciones restantes de manera consecutiva a fin de conseguir la estructura autoportante a base del Renault Twizy.

#### **2.4.2. REUBICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA FACTORÍA ACORDE AL TIEMPO ESTÁNDAR**

Una vez se ha desarrollado el primer modelo para el desarrollo de la estructura con las siete estaciones, se procede con la reestructuración de la factoría a fin de evaluar un nuevo modelo en función de los tiempos estándar.

Para este nuevo modelo se ha de incorporar nuevas estaciones acorde a las necesidades que genere el cálculo en función de los nuevos tiempos de trabajo estándar con los que se ha de tratar esta nueva configuración de estaciones.

Además, se pretende reorganizar el trabajo desde el punto de vista de proveedores y de la materia prima (raw material). Pues para el caso se ha de disponer de una nueva estación exclusiva para el CFRP, aparte de las nueve mencionadas, que hará las veces de proveedores de primer nivel. Será esta nueva estación la que se encargue de llevar los diferentes paneles a base de fibra de carbono bajo el concepto de just in time, es decir, esta estación ha de trabajar juntamente con los tiempos dispuestos en la cadena principal de ensamblaje a fin de mantenerse en rangos de trabajo que permitan acercarse a este tipo de concepto.

Otra mención importante que se puede hacer es que para la nueva configuración cada una de las estaciones se ha de incorporar con su propio puesto de subensamble, en los cuales se trabajaran los diferentes marcos antes de ser llevados a través de la línea principal de ensamblaje.

### **2.4.3. SIMULACIÓN DEL SEGUNDO MODELO**

El segundo modelo de la cadena de manufactura deberá encontrarse acorde a las respectivas mejoras mencionadas en el apartado de la reubicación de las características de la factoría. En función de ello se ha implementado nuevos métodos dentro del programa que han de permitir la interacción de la nueva maquinaria con las diferentes estaciones de trabajo.

Además, se menciona que para este punto se ha incorporado una nueva ventana de comandos, mencionada en el programa como control panel, en la que se ha incorporado por separado todo lo correspondientes a elementos que hacen factible la interacción de cada una de las estaciones de la factoría.

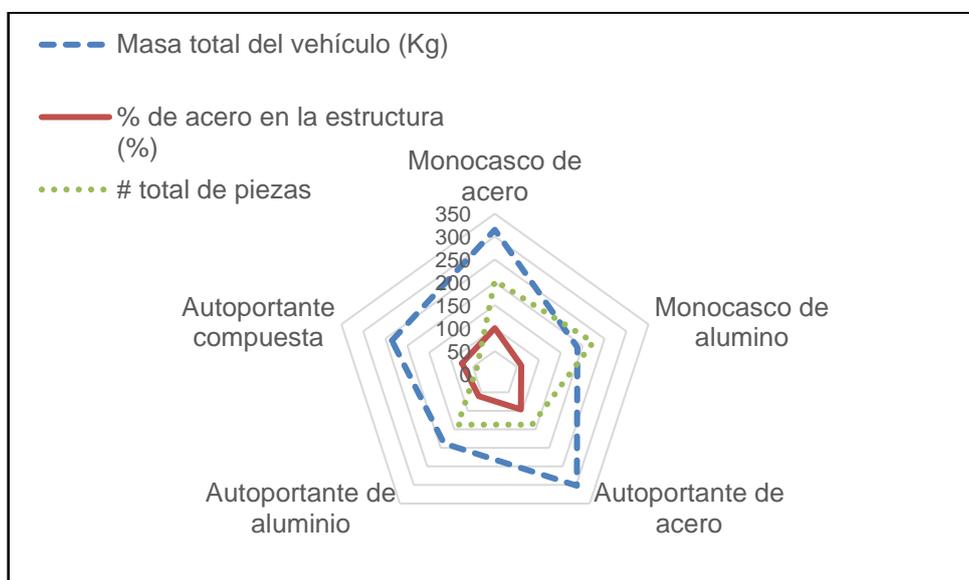
## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en base a la comparativa de los diferentes modelos en función del tipo de estructura, el material utilizado y el modelo de vehículo.; además se identifica el proceso de reingeniería para la generación del modelo CAD, y finalmente se establece los datos del modelado de la cadena de producción de la estructura

#### 3.1. COMPARATIVA DE LA ESTRUCTURA

Para el proceso de selección de la estructura se ha sido necesario el uso de diagramas que faciliten la identificación de la mejor propuesta de estructura, en función del tipo de material, el tipo de estructura y el modelo de vehículo.



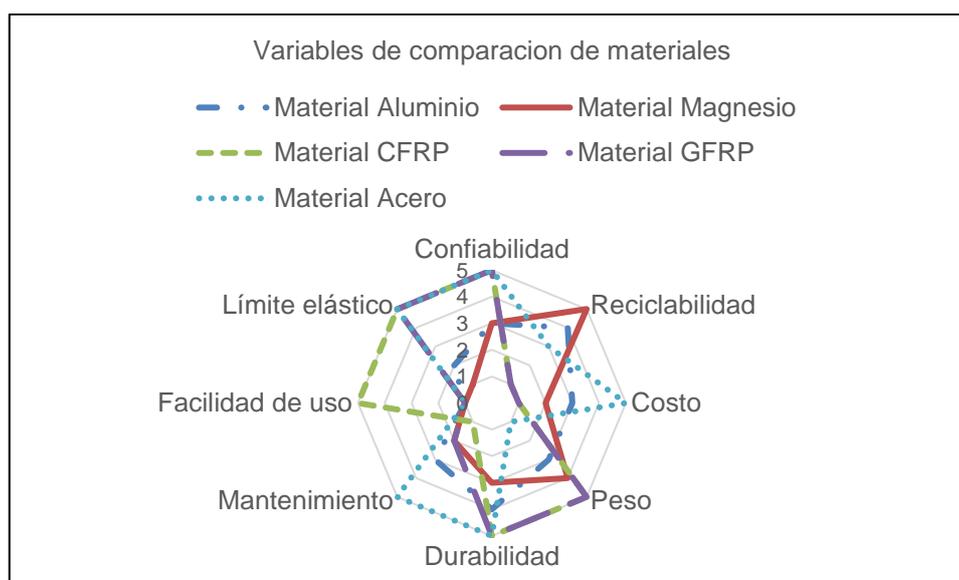
**Figura 3.1** Comparativa acorde al tipo de estructuras

Para el análisis se ha hecho uso de un gráfico radial que se presenta en la Figura 3.1, en el que se representa la comparativa entre las siguientes configuraciones de estructuras, una autoportante conformada de aluminio y otra conformada de acero, una monocasco

conformada de aluminio y otra de acero y finalmente una compuesta por una combinación entre monocasco de acero (75% de la estructura) y CFRP (25% de la estructura).

Los datos que se muestran en la gráfica radial han permitido seleccionar la autoportante como el tipo de estructura que se ha usado para el presente trabajo, esta deducción se logra al visualizar que los valores del número de piezas propuestas para las autoportantes de acero, aluminio, compuesta son de 137, 137 y 41 respectivamente, mientras que en el caso de las monocasco mantienen valores de 204 para el acero y 224 para el aluminio. Por el lado de la cantidad de estampados se visualizan valores de 187 y 207 elementos para las monocasco de acero y aluminio que son realmente valores altos al compararlos con los 40, 40 y 0 elementos para las estructuras autoportantes de acero, aluminio y material compuesto de manera respectiva. Finalmente se puede valorar los diferentes porcentajes de acero para cada estructura, siendo para las monocasco de aluminio y acero los valores de 100% y 60% respectivamente, mientras que para las autoportantes se puede apreciar valores de 96% para la de acero, 60% la de aluminio y 75% para la compuesta, esta última con altos valores por efectos de que más de la mitad de su composición es a base de acero.

Una vez se ha seleccionado el tipo de estructura, se procedió con la selección del tipo de material, o composición de materiales que se han usado para la conformación de la autoportante tratada en este trabajo.

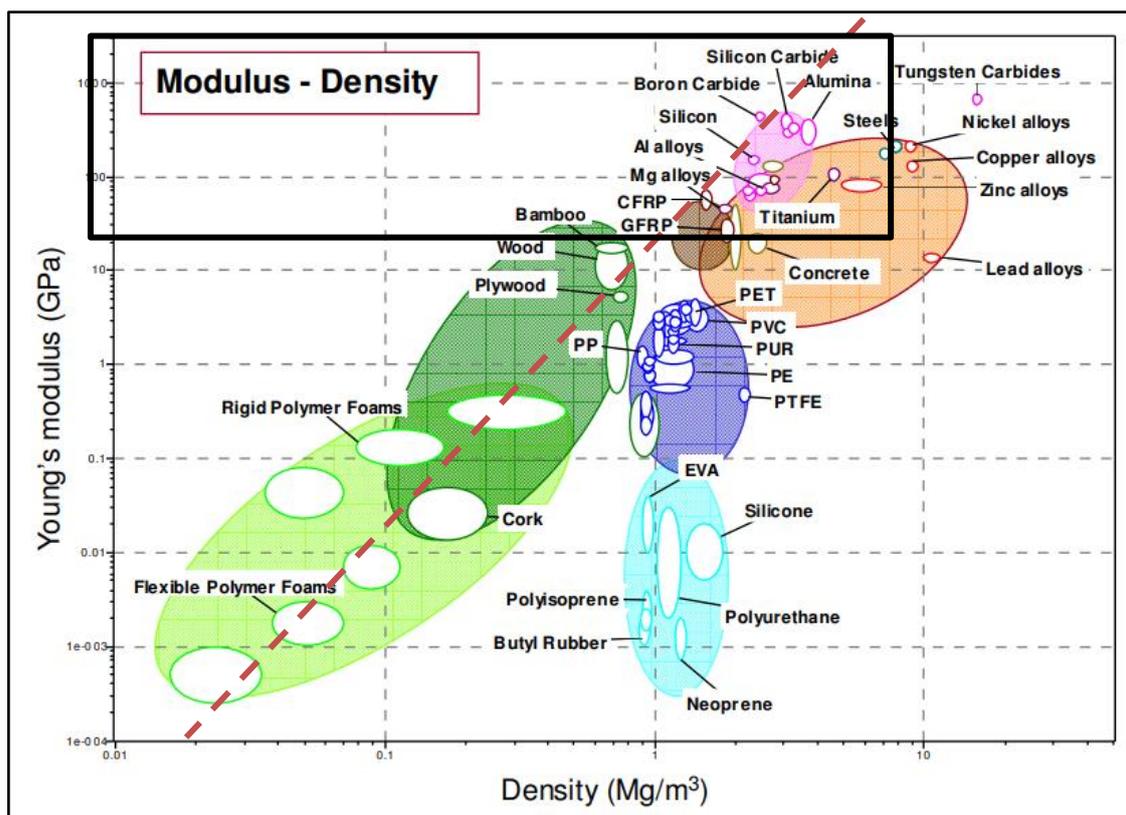


**Figura 3.2** Comparativa en función de las variables de distintos materiales

La ponderación que se ha tenido en cuenta para este apartado está en función de la sumatoria de puntos acorde a los variables que se muestran en la Figura 3.2, a partir de esta grafica se puede evidenciar que los materiales de acero, aluminio y fibra de carbono son las mejores opciones al tener un puntaje general de 30, 23 y 28 puntos respecto a los 21 y 25 puntos para el magnesio y la fibra de vidrio.

### 3.1.1 SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Como punto de partida se tomará de referencia los valores que se han obtenido en función de la comparativa del tipo de estructuras, datos que se aprecian en el apartado de comparativa estructural en la que se ha desarrollado la valoración de las diferentes estructuras en función de la masa de la estructura, el porcentaje de acero y el número de elementos.

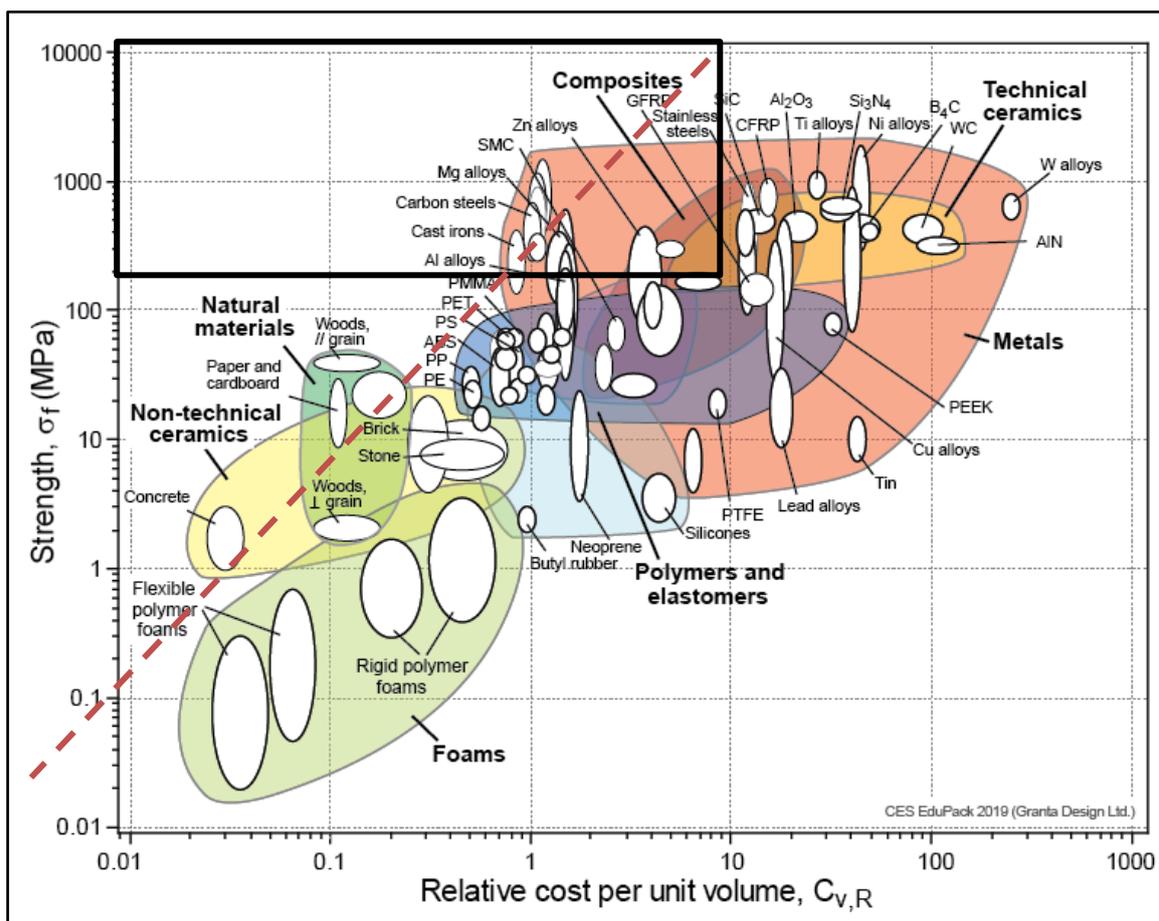


**Figura 3.3** Gráfico comparativo entre densidad y el módulo de Young

(Obando Martínez, 2018, pág. 9)

Para la valoración de que efectivamente este tipo de materiales son los más usuales en el ámbito de la constitución de estructuras vehiculares, se ha partido por la comparativa de la

densidad vs el módulo de Young, dispuesto en el eje X y Y respectivamente acorde a la Figura 3.3, y a partir de ello se ha escalonado la pendiente para estructuras en tres dimensiones, en base a ello se puede apreciar que el material preferencial resulta ser el compuesto de CFRP, pues este último es quien más se acerca a la zona de un material ideal, en cuanto a las propiedades comparadas..



**Figura 3.4** Selección del material en función del coste

(Obando Martínez, 2018, pág. 9)

Como se puede apreciar en la Figura 3.4 para la selección de la mejor opción de materiales en función del coste, se aplicó el mismo procedimiento, se escaló un área que cubra los materiales en discusión y seguido se trasladó la pendiente de grado 3 para la selección. El resultado de esta comparativa, permitió identificar al acero al carbono como la opción ideal si de reducción de costes se trata.

### 3.1.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL ESPECIFICO POR MEDIO DE ÍNDICES

A partir de este punto se clasifico en la Tabla 3.1 aquellos posibles materiales que podrian cumplir los requisitos de diseño, en cuanto a ser económicos, ligeros y resistentes, con sus respectivas propiedades.

**Tabla 3.1** Propiedades de los materiales seleccionados

Rango de propiedades de cada familia			
Material	Densidad (e3) (Kg/m3)	Precio (\$/Kg)	Módulo de Young (Gpa)
Aluminio	2,5 -2,9	1,68 - 1,82	72-89
Acero bajo carbono	7,8 - 7,9	0,55 - 0,592	200-215
Magnesio	1,74	4,71	44,8
CFRP	1,7 - 1,87	6,8 - 9	230-441

Fuente: (Gill & Summers, 2016, pág. 139)

En base a estos datos de partida, se procedio con el analisis de los indices respectivos para cada material, en busqueda de seleccionar la mejor posibilidad o posibilidades para ser usados en el precente proyecto, es asi que se cuantifico los indices mediante las Ecuaciones 3.1 y 3.2.

M1:

$$M1 = \frac{E^{\frac{1}{2}}}{\rho} \quad [3.1]$$

$$M1 = \frac{72^{\frac{1}{2}}}{2.5 \times 10^3}$$

$$M1 = 3,39 \times 10^{-3}$$

M2:

$$M2 = \frac{E^{\frac{1}{2}}}{Cm \cdot \rho} \quad [3.2]$$

$$M2 = \frac{72^{\frac{1}{2}}}{1.68 \times 2.5 \times 10^3}$$

$$M2 = 2,02 \times 10^3$$

Se aplico el mismo proceso para cada uno de los materiales tratados y finalmente los resultados para la selección del material, que se reflejan en la Tabla 3.2, muestran que de todas las posibilidades las mejores opciones a seleccionar en función de priorizar el costo, serán los metálicos como el aluminio y el acero al carbono y por otro lado en búsqueda de minimizar la masa de la estructura se hará uso de los compuestos como el CFRP o metálicos como el aluminio y el acero.

**Tabla 3.2** Selección del material acorde a los índices

Material	Índices de selección	
	M1	M2
<b>CFRP</b>	8,92 e-3	1,31 e-3
<b>Magnesio</b>	3,93 e-3	8,37 e-4
<b>Aluminio</b>	3,39 e-3	2,02 e-3
<b>Acero</b>	1,81 e-4	3,29 e-3

**Fuente:** (Fernández, Camacho Ana, & Prieto, 2020, pág. 32)

Como dato adicional, se ha añadido en este apartado las propiedades de materiales específicos de cada uno de los materiales que pasaron la prueba de selección, es así que la Tabla 3.3 muestra las propiedades de los mencionados.

**Tabla 3.3** Selección del material específico

Material	Propiedades de material específico	
	Densidad (e3) (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Young (Gpa)
<b>Mg AZ91</b>	1,8	45
Al 6061/serie 6000	2,7	68,9
Steel 304	8	200
CFRP Estándar	1,7	230

**Fuente:** (Gómez, Mejía, & Olaya, 2015, págs. 112-124)

De esta manera se ha seleccionado dos configuraciones de materiales para cada uno de los modelos que se ha tratado en este documento; la primera que es en base al acero y fibra de carbono, configuración que acorde a lo mostrado con anterioridad reduce el índice M1, por efecto de que se sustituye el cuerpo principal a base de acero, por uno a base de CFRP, con la desventaja de que se aumenta el índice de M2 al aumentar su coste de producción. Para la segunda configuración a base de aluminio y acero, se puede observar que el índice M1 reduce

drásticamente su valor si lo compara con el índice del acero, pero de igual manera aumenta de manera exagerada el valor del índice M2, por efecto de que los materiales como el aluminio y la fibra de carbono poseen costes elevados de producción.

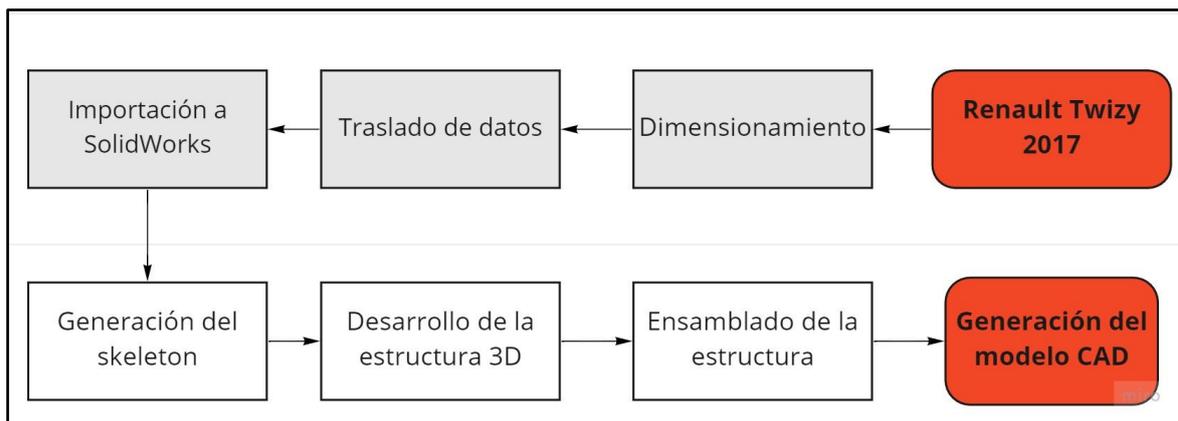
En función de todos los datos que se han trabajado en este apartado se ha decidido por la aplicación de los tres materiales en diferentes configuraciones para cada uno de los dos modelos que se han de ensamblar en la cadena de producción, es así que las características para cada modelo han quedado distribuidas para cada modelo acorde a lo que se presenta en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Comparativa de los modelos que se han usado en el trabajo

<b>Modelo</b>	<b>Combinación de materiales</b>	<b>Especificación del material</b>	<b>Cantidad de sub ensamblados</b>	<b>Cantidad de ensamblados</b>	<b>Tipo de arquitectura</b>
<b>Primer modelo</b>	ASHH-CFRP	CFRP estándar Acero 304/ Acero al carbono	1	6	Arquitectura convencional
<b>Segundo modelo</b>	AL-CFRP	Aluminio 6061 CFRP estándar	5	3	iStream

### **3.2. PROCESO DE REINGENIERÍA PARA EL MODELADO CAD**

Para el presente trabajo se ha apartado por aplicar los pasos lógicos que se mencionan en el apartado de la metodología en lo referente al proceso para generar el modelo de la estructura portante en base al Renault Twizy.



**Figura 3.5** Proceso de reingeniería usado en el proyecto

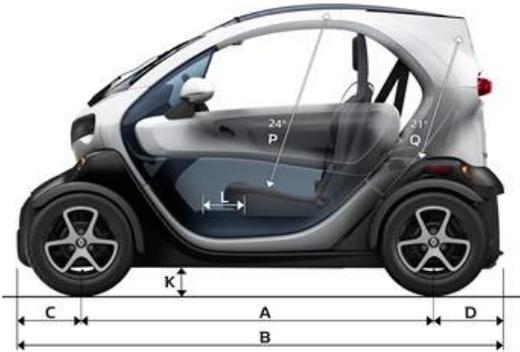
Como se logra apreciar en el diagrama de flujo anteriormente descrito, se ha generado una serie de pasos lógicos que desembocan para la constitución del modelo final. En dicho diagrama se inicia con el modelo original, que para el caso será el Renault Twizy 2017 que se encuentra en el campus de la UTN y se termina con un modelo 3D que hará de base para la ejecución de todo el proyecto.

En base al diagrama se desarrolla todo el apartado de resultados en lo que se refiere a la constitución de la estructura 3D, mismos que se detallan con mayor profundidad a continuación.

### 3.2.1. FASE DE ESCANEEO

Para el apartado del dimensionamiento del modelo base se ha trabajado mediante textos y folletos informativos en los que se mencionan las diferentes medidas superficiales del modelo Renault Twizy, tal y como se muestra en la siguiente tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Dimensiones originales del modelo Renault Twizy

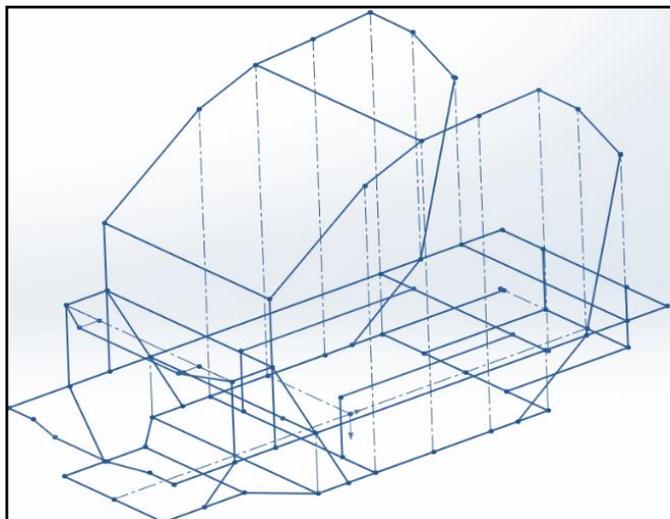
<b>RENAULT TWIZY/DIMENSIONES</b>			
#	Descripción	Valor (mm)	# Descripción
A	Distancia entre ejes	1686	
B	Longitud total	2338	
C	Saliente delantero	313	
D	Saliente posterior	339	
K	Distancia al suelo	120	
L	Recorrido del asiento	200	
P	Distancia de la articulación de la cadera al Techo	908	
Q	Distancia de la articulación de la cadera al techo (para asientos traseros)	843	
E	Distancia entre llantas frontales	1094	
F	Distancia entre llantas posteriores	1080	
G	Ancho, incluido espejos retrovisores	1237	
I	Ancho del guardabarros frontal	313	
J	Ancho del guardabarros posterior	1094	
H	Altura del suelo al techo	1080	
H1	Altura, incluida la longitud de puerta	1818	

Fuente: (Renault, 2018, pág. 18)

El resto de las medidas que se han usado para la generación del modelo, han sido generadas a partir de las medidas generales dispuestas en la tabla anterior. Es decir, para todo lo que tiene que ver con el dimensionamiento interno se ha hecho un aproximado en base a graficas de la estructura del modelo original, es decir, se ha tomado referencia de modelos netamente estructurales del Twizy que se encuentran en los diferentes folletos informativos proporcionados por la empresa que los fabrica.

### 3.2.1. FASE DE PROCESAMIENTO DE PUNTOS

Para el primer enfoque general de la estructura, se ha trabajado en la generación de un modelo 3D a nivel estructural que permitiese identificar los diferentes puntos de ensamble con los que se ha de trabajar más adelante.



**Figura 3.6** Estructura del modelo base

En este apartado se contempló la idea de que siempre es necesario un modelo inicial tipo borrador del cual se deberá partir para la obtención de un modelo final mucho más pulido, es así como a través del software CAD se desarrolló el siguiente modelo estructural.

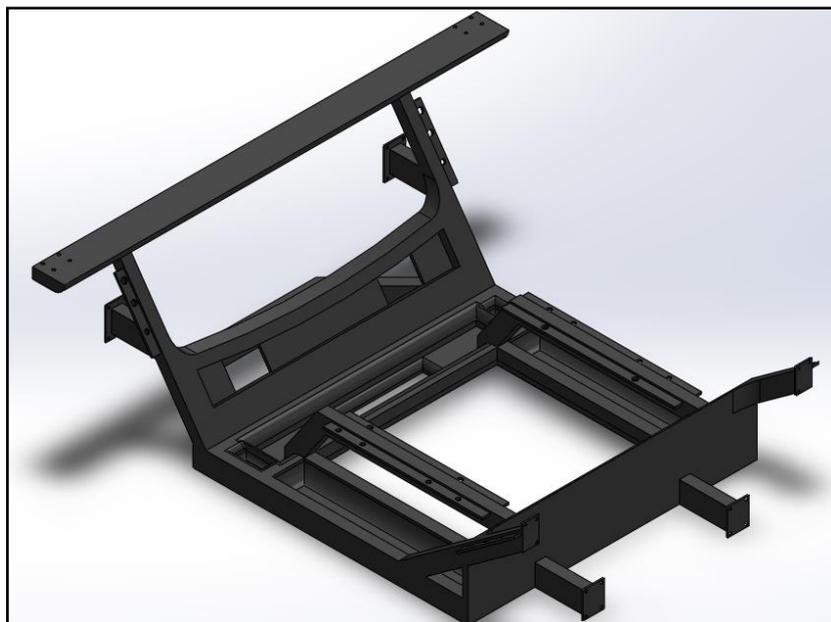
Como se aprecia en la Figura 3.6 se trata de un conjunto de líneas que asemejan la silueta que caracteriza al Renault Twizy. Para el desarrollo de dicha silueta fue necesario ejecutar un croquizado del tipo 3D en el que es posible trabajar en varios planos a la vez, lo que facilita el desarrollo idóneo de cada configuración que han de dar vida a posteriori a cada subensamble dentro de la estructura final.

### 3.2.3. FASE DE APLICACIÓN

Una vez se ha contemplado el modelo base a manera de boceto se procede con el desarrollo de cada subensamble de manera individual, teniendo en cuenta que para ello se ha de trabajar en el croquizado del tipo 3D para cada estructura, pues como ya se mencionó permite agilizar la construcción de ciertos componentes a manera de siluetas.

### 3.2.3.1. Main Frame a base de fibra de carbono

Para la definición de esta estructura se ha tomado referencia de las dimensiones de toda la parte interna del habitáculo del modelo Twizy y a dichas se les ha incorporado diferentes desfaces y siluetas que servirán de punto de anclaje, unión y apoyo para los diferentes elementos y subensambles que se ha pensado se incorporaran a posteriori.



**Figura 3.7** Main Frame a base de CFRP

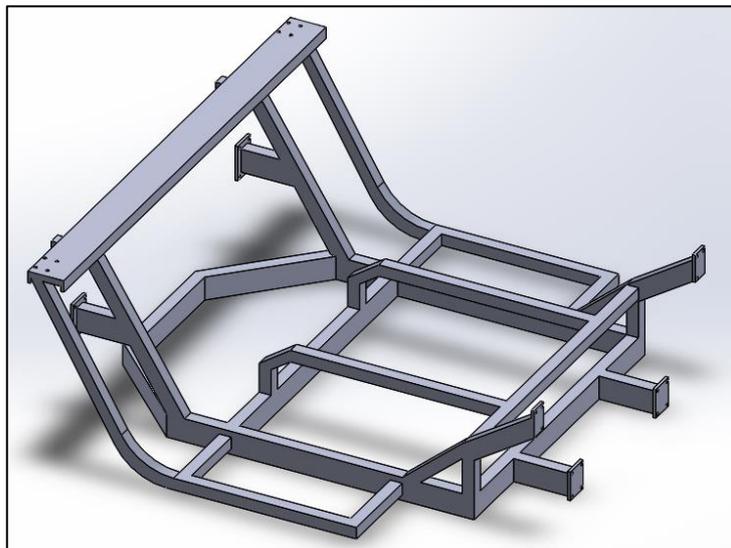
Como se aprecia en la Figura 3.7, este es un modelo más completo respecto al inicial, y se debe a que en el ya están dispuestos elementos que, si se lo realizase por subensambles con otro tipo de material, se los conformaría por capas, pues como se sabe la mayoría de las estructuras se las fabrica por estampado y procesos en los que se necesita de posteriores incorporaciones de capas para conformar un elemento final.

La idea de desarrollar la estructura en función de este componente se debe a que dicha permite la exploración de otras técnicas de conformación, unión y ensamblado en comparación a estructuras convencionales.

### 3.2.3.3. Main Frame a base de aluminio

Al tratarse de la estructura principal, será la primera en desarrollarse, para ello se ha empleado en primera instancia el comando de croquis 3D, bajo una condición de plano del

tipo planta, a fin de generar una correcta orientación a la hora de extruir los diferentes perfiles.



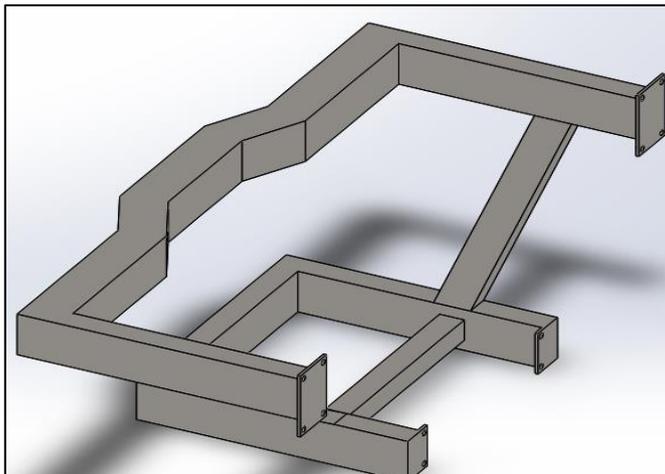
**Figura 3.8** Modelo 3D del Main Frame a base de aluminio

El conjunto que se puede apreciar en la Figura 3.8 en la que se presenta la extrusión de cada uno de los perfiles acotados con anterioridad a fin de obtener un cuerpo 3D. Para ello se ha hecho uso de la herramienta “Extruir”, presente en la pestaña de operaciones del programa. Los perfiles utilizados para la creación de la estructura 3D, han sido extraídos de la misma librería del programa, mientras que para el caso de tipo de material se ha establecido como aluminio.

### **3.2.3.3. Frontal Frame (Cuerpo frontal)**

Al igual que el conjunto principal (Main Frame), previo a la destrucción del modelo ha sido necesario la generación del boceto en tres dimensiones a manera de estructura inicial, que básicamente referencia a las líneas que servirán de perfil para la creación del modelo.

Su acotado se lo ha hecho a través de la pestaña croquis en su respectivo cuadro de croquizado, mientras que para la creación de las líneas se ha usado los mismos comandos que su antecesor, pero con diferente disposición acorde a la necesidad del boceto.



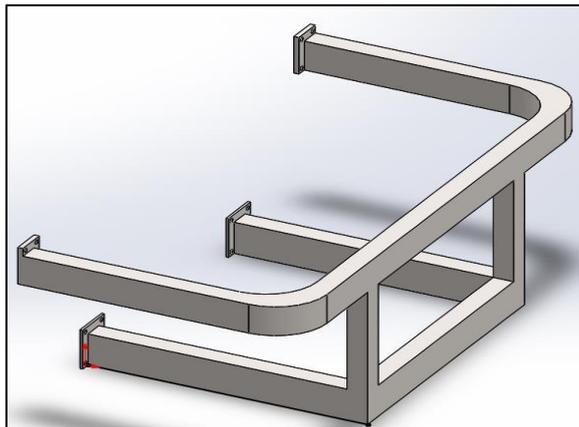
**Figura 3.9** Modelo 3D del Frontal Frame

Como se logra apreciar en la Figura 3.9 aparte de la extrusión de cada perfil desarrollado en la estructura inicial, se ha adjuntado también los respectivos paneles para cada lado que harán de soporte para el mecanismo de suspensión del conjunto chasis.

#### **3.2.3.4. Rear Frame (Cuerpo posterior)**

Al tratarse del conjunto posterior, que casualmente será el albergue del mecanismo de impulsor del vehículo, se ha trabajado con mayor nivel de detalle en cuanto a su dimensionamiento.

Para realizar este boceto se ha genera en primera instancia líneas de construcción que permiten generar a posteriori una réplica exacta de una determinada silueta al hacer uso del comando simetría de entidades. Mientras que para el delineo de cada perfil se ha aplicado los mismos conceptos que para sus anteriores subconjuntos.



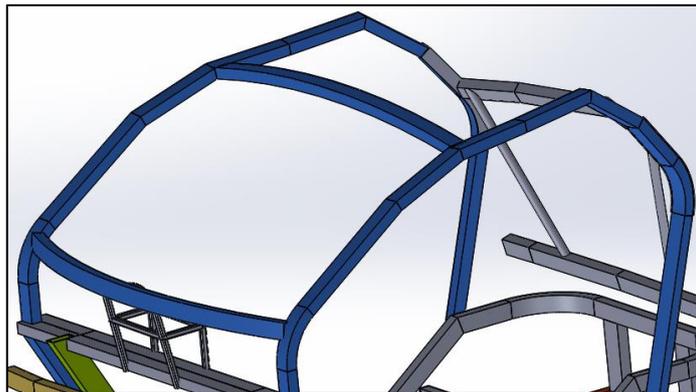
**Figura 3.10** Modelo 3D del Rear Frame

Como se aprecia en la Figura 3.10 por tratarse de uno de los conjuntos más importantes del vehículo se ha prestado atención a los diferentes detalles que en él se albergan, es así que se ha acoplado como conjuntos adicionales los paneles que sujetaran el mecanismo de suspensión por la parte posterior del vehículo

#### **3.2.3.5. Pilares A/C y roof rails**

Se procedió con la ejecución de acotados con referencia al plano de planta que permitieron alcanzar una correcta definición de las dimensiones para cada punto de las diferentes uniones de las que consta especialmente las extensiones de los pilares.

Para su respectivo delineado se ha ejecutado los comandos de línea normal y le línea entrecortada que permitieron generar además los diferentes desniveles que se pueden apreciar en el modelo real ya que de manera individual se asemeja a una silueta de la letra C, pero en conjunto se parece a una estructura ovalada con cierta tendencia a reducirse por la parte posterior.

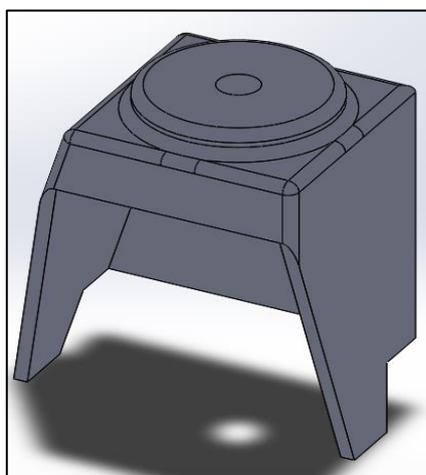


**Figura 3.13** Modelo del conjunto de pilares y los Roof Rails

Como ya se ha hecho con las anteriores estructuras aquí también se ha aplicado el comando de extracción para generar una estructura 3D que se observa en la Figura 3.11. Sin embargo, en este caso en particular se ha añadido además dos perfiles inferiores que hacen las veces de un rocker en los modelos convencionales, uno por lado, que completan el diseño final del conjunto entre los perfiles y el roof rail.

### **3.2.3.6. Desarrollo de Shock Towers**

Se procedió con la generación de un cuerpo 3D el cual debía contener las medidas exteriores del conjunto ensamblado de un soporte de suspensión, a partir de este bloque se trabajó con operaciones de extracción para la generación de los diferentes espacios huecos que existen en esta pieza, y finalmente se añadió las diferentes perforaciones para el alojamiento de la barra de suspensión.

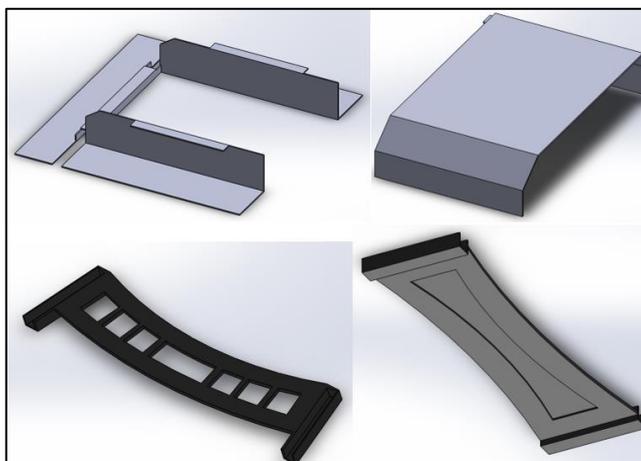


**Figura 3.12** Soportes de suspensión o Shock Towers

La Figura 3.12, muestra el resultado del proceso de conformación del soporte de suspensión, el cual se verá ensamblar más adelante mediante el sistema de soldadura por arco eléctrico.

### 3.2.3.7. Desarrollo de los paneles de fibra de carbono

Los paneles de fibra de carbono únicamente han sido trabajados para el Segundo modelo de la cadena de ensamblaje en que se tiene una estructura compuesta de aluminio y fibra de carbono.



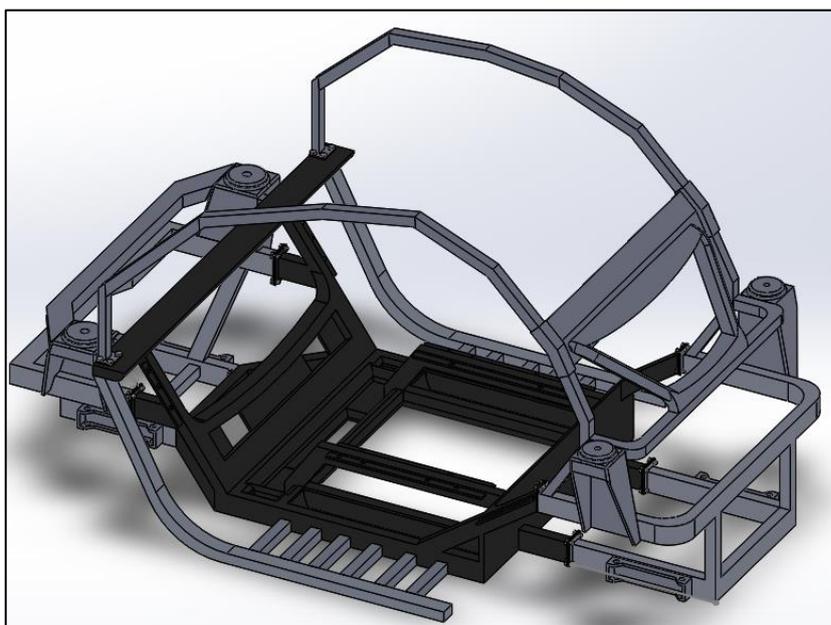
**Figura 3.13** Paneles de fibra de carbono

Como se evidencia en la Figura 3,13 se trabajó en un total de 5 paneles para la conformación de los diferentes sub ensamblajes del modelo autoportante. Se desarrolló 2 paneles que son para los pisos del marco principal, 1 panel para el marco frontal, 1 panel para el marco posterior y un Integration Panel, que es la conformación de dos semiestructuras y un panel normal, para la conformación del techo de la estructura.

### 3.2.3.8 Modelado de la estructura final

El modelo final ha sido factible de alcanzar gracias al correcto desarrollo de cada uno de los subensambles indicados en el apartado anterior. Ya que el dimensionamiento ideal de cada componente va a jugar el papel más importante a la hora de generar las respectivas relaciones de ensamblaje.

Una vez se ha concluido con la creación de cada parte de manera individual se ha de proceder con la generación del producto final que se quiere alcanzar en este trabajo de grado. Es así como para este punto se ha hecho uso de la herramienta ensamblaje de elementos, que se encuentra disponible dentro de la librería del software 3D y que permitirá desarrollar la estructura autoportante del modelo Renault Twizy.



**Figura 3.14** Estructura autoportante compuesta de acero y fibra de carbono

La estructura que se aprecia en la Figura 3.14, es el resultado de la unión de cada subensamble a través de las diferentes relaciones entre componentes que se han establecido dentro del software CAD a fin de conformar una sola estructura. Además de que el proceso subsecuente como resultado de la correcta conjugación de elementos es el proceso de designación de tipo de materiales y tipos de tubería usado para cada subestructura.

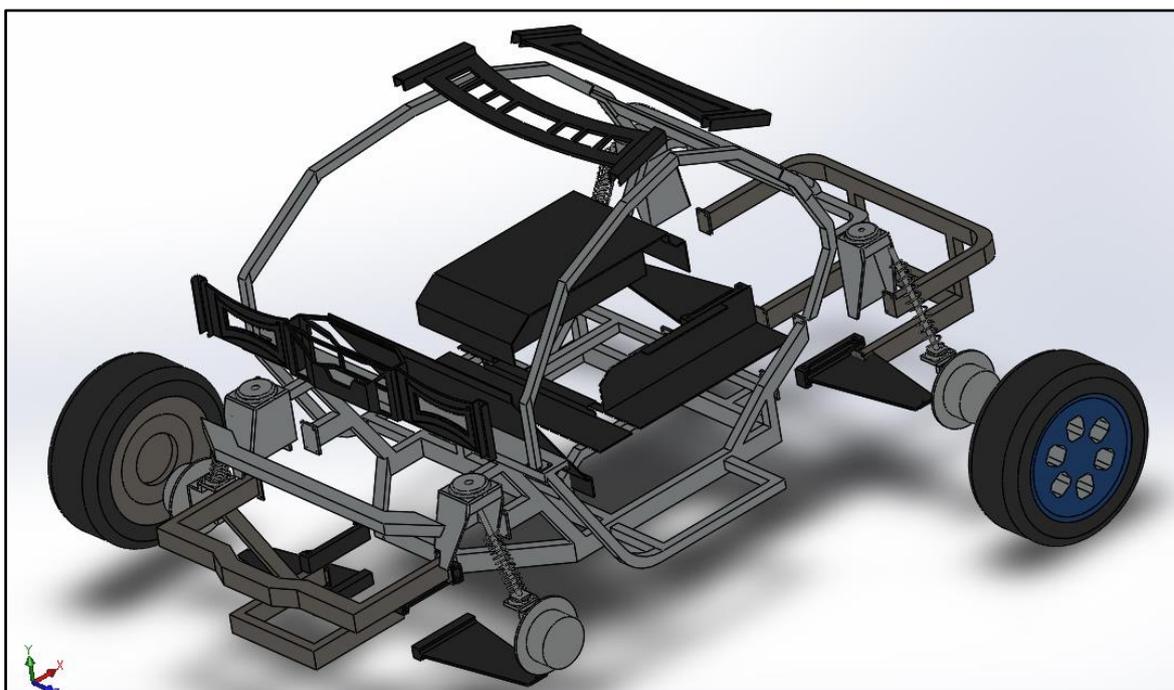
La Tabla 3.5 tiene la finalidad de profundizar un poco más acerca de los aspectos que son ajenos al diseño y construcción de la carrocería autoportante. Es por ello que en ella se menciona datos acerca tipo de material usado para la construcción de cada subensamble, el cual se ha designado haciendo uso de textos referenciales mencionados en el capítulo 3. Además, en esta tabla se presenta la designación por color de cada estructura a fin de facilitar la localización de cada una de ellas. Por otro lado, el tipo de tubería usado hace referencia a los diferentes perfiles y dimensiones de estos que se han implementada para la conformación de cada subensamble.

**Tabla 3.5** Conformación de cada sub ensamble de la estructura compuesta

Estructura convencional	Material	# Elementos	Método de ensamble	Identificación por color
Main Frame	CFRP	1	junte adhesivo	
Frontal Frame	Acero de bajo carbono	11	Soldadura MIG	
Rear Frame	Acero de bajo carbono	12	Soldadura MIG	
Pilares A/C y roof rails	Acero de bajo carbono	8	Soldadura MIG	
Paneles	Acero de bajo carbono	1	junte adhesivo	
Shock Towers	Acero de bajo carbono	4	Soldadura MIG	

### 3.2.3.9. Modelo alternativo (manufactura en 10 estaciones)

A fin de trabajar a posteriori con un modelo diferente para el desarrollo del modelo dos de simulación, se ha generado una estructura alternativa a nivel visual en la que se ha sustituido el Main Frame a base de carbono por un marco de aluminio, mismo al que se han de ensamblar los diferentes paneles de CFRP para la conformación del marco principal.

**Figura 3.15** Estructura compuesta de CFRP y aluminio bajo el concepto iStream

Como se aprecia en la Figura 3.15 el modelo es muy similar a su anterior, con la diferencia que para este nuevo modelo se han incorporado el marco de aluminio que junto con el marco posterior y frontal, conforman el iFrame, en él se incorporan a posterior los diferentes paneles tratados como iPanels y inPanels, diferenciales por el hecho de que los primeros no necesitan de una previa estructura para ser instalados mientras que los segundos necesariamente deberán mantener una su estructura a base de fibra de carbono en las que se incorporan y que han de conformar la estructura final.

De igual manera para este modelo se ha desarrollado la Tabla 3.6 en la que se ha trabajado las diferentes características del segundo modelo acorde a las variables que se presentan a continuación.

**Tabla 3.6** Conformación de cada sub ensamble de la estructura compuesta para el segundo modelo

<b>iStructure</b>	<b>Sub ensamble</b>	<b>Materia l</b>	<b># Elementos</b>	<b>Sub ensamble</b>	<b>Método de ensamble general</b>
<b>iFrame</b>	Main Frame	Al 6005C	30	Soldadura MIG	Soldadura MIG
	Frontal Frame	Al 6005C	11	Soldadura MIG	
	Rear Frame	Al 6005C	12	Soldadura MIG	
	Shock Towers	Al 6005C	4	Soldadura MIG	
	Roof Rails	Al 6005C	8	Soldadura MIG	
<b>iPanels</b>	MF/FF/R F	CFRP	4	junte adhesivo	junte adhesivo
<b>Integratio n panels</b>	Roof panels	CFRP	1	junte adhesivo	

### **3.3. DESARROLLO DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN**

La estructura desarrollada en el modelado CAD deberá pasar por un proceso de conformación, unión y ensamblado para lograr obtener un modelo autoportante ideal.

Ya que las diferentes estructuras a base de aluminio y acero se conforman a través de la materia prima que se receipta, corta y suelda hasta conseguir una especie de subensamble que a posterior se ha de ir incorporando de a poco acorde a la planificación de la cadena de conformación y montaje.

Para el caso de los elementos de CFRP, se los dispone de manera alterna en el cursograma, a razón de los paneles desarrollados de este material han de ser adquiridos a través de procesos de proveedores de primer nivel y de enfoques en el just in time.

#### **3.3.1. ESTRATEGIAS DE CONFORMACIÓN**

La estructura final del vehículo está compuesta por varios subensambles que se han acoplado a la estructura principal a base de aluminio/acero y fibra de carbono. Es preciso en este punto en donde se hace necesario la mención de las diferentes estrategias que se han usado para generar los diferentes elementos y subensambles.

Hay que tener en cuenta que en este apartado se menciona las diferentes técnicas de conformado que se han seleccionado acorde a la gráfica expuesta, es decir, según el tipo de junte que se puede hacer entre los diferentes elementos; sin embargo, hay que entender que al tratarse de un proceso de simulado la selección solo toma en cuenta ciertos aspectos, mas no todos los que han de tenerse en cuenta a la hora de ejecutarlos en la vida real. Bajo esta perspectiva las diferentes estrategias de conformación han quedado distribuidas de la siguiente manera.

##### **3.3.1.1. Conformación del Main Frame/Roof y Rear panel**

Para la conformación del Main Frame / Roof y Rear panel se hace uso del proceso de transferencia de resina por moldeo, para ello será necesario la creación de moldes acordes a

las diferentes características de cada componente, que para el caso de modelado se asume ya se cuenta puesto que será necesario otro estudio para mencionar a profundidad el proceso paso a paso de como conformar a través de este proceso.

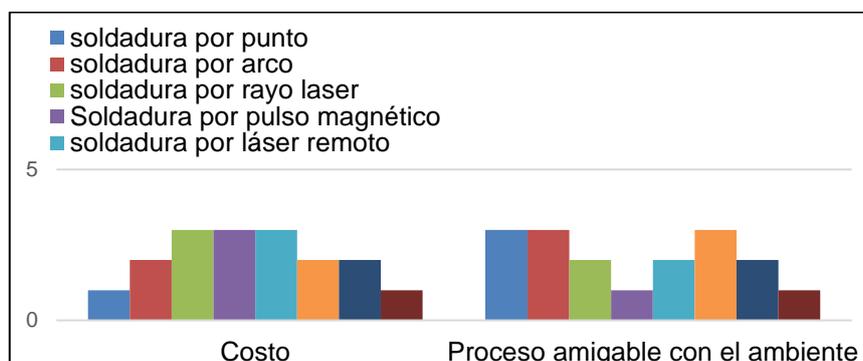
### 3.3.1.2. Conformación del Frontal/Rear Frame y los pilares

Este tipo de estructuras por lo general se encuentran constituidas por un sinnúmero de componentes como tubos cuadrados constituidos por hidro formación para los pisos y rieles y en otros casos constituida por un conjunto de paneles conformados por la tradicional estampado De chapa, para el caso del proyecto se ha dejado abierta la posibilidad de que estecen constituidos los diferentes elementos de aluminio y acero por cualquiera de los dos métodos.

### 3.3.2. ESTRATEGIAS DE ENSAMBLADO

Al igual que los procesos de conformación, existen diferentes técnicas que se usan en la industria de producción automotriz para el ensamblado de los diferentes elementos y ensamblajes que sean necesarios para conformar un componente final. Para el caso del proyecto se toma referencia de la siguiente tabla para generar un aproximado de lo que se usaría en caso de aplicarlo a la vida real.

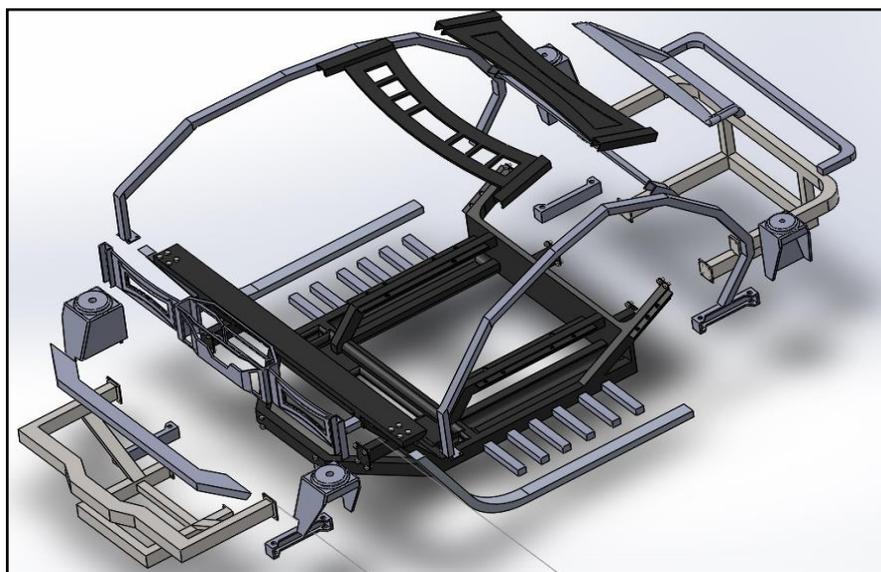
Acorde a las metodologías de ensamble mencionadas en el capítulo anterior se seleccionado las diferentes técnicas con las que se ha de ensamblar un componente respecto de otro dentro de la cadena de producción, quedando los juntas de la siguiente manera.



**Figura 3.16** Selección de los procesos de unión más viables

Como se muestra en la Figura 3.16 el proceso de selección se ha definido en base a las variables de costo y la tipología de ser un proceso amigable con el ambiente. De estas dos características se ha priorizado la variable relacionada al ambiente para las diferentes juntas entre los componentes del primer modelo es por ello que se ha seleccionado un proceso de unión por remaches autoperforantes para el junte entre el Main Frame de fibra de carbono y los sub ensambles de acero.

Por el lado de la estructura para el segundo modelo se ha priorizado el costo como variable principal y a razón de ello se ha seleccionado como las opciones más viables a la soldadura por arco eléctrico y al proceso de unión adhesiva para la conformación, siendo el primer proceso el usado en la conformación de cada sub ensamble y el segundo proceso para la unión entre los elementos de fibra de carbono y los elementos de aluminio.

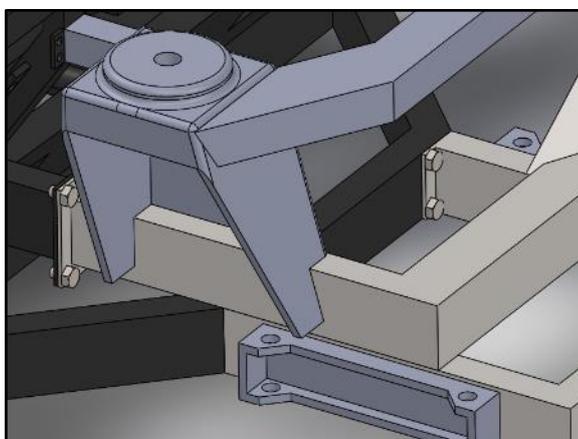


**Figura 3.17** Estructura final con componentes por ensamblar

En la Figura 3.17 se puede observar el grafico del explorer de la estructura autoportante compuesta de acero y fibra de carbono

### 3.3.2.1. Ensamblado entre el Main Frame y el Frontal Frame

Al tratarse de dos elementos totalmente diferentes, puesto que el Frontal Frame está constituido a base de acero y aluminio y el Main Frame será un compuesto de polímero, será necesario evitar estrategias de ensamble en la que se haga uso de cualquier tipo de soldadura, a razón de ello se ha pensado en dos posibilidades para este tipo de unión; la primera será a través de remachado y empernado original, que será más fácil y factible de usar y el segundo método es hacer uso de alguna de las estrategias de fijación mecánica como el clinchado mecánico o el remachado autoperforante.

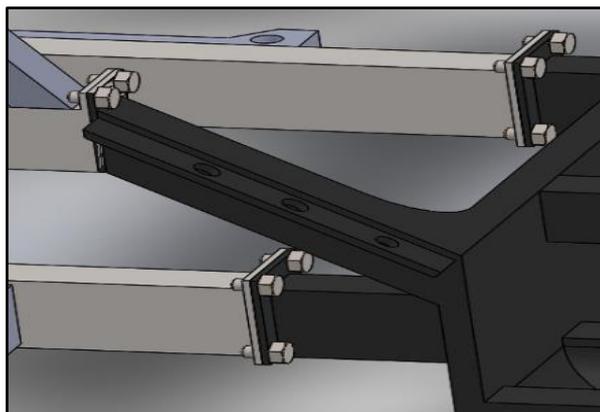


**Figura 3.18** Ensamblado mediante soldadura MIG

En la Figura 3.18 se puede apreciar el proceso de unión entre el Frontal Frame y los soportes de suspensión a través de la tecnología de suelda por arco eléctrico MIG.

### 3.3.2.2. Ensamblado entre el Main Frame y el Rear Frame

Al igual que la estrategia de ensamblaje anteriormente expuesto que se ha de usar para el junte entre el frontal y el Main Frame, para el caso del Rear Frame también se ha dejado abierta la posibilidad de hacerlo por cualquiera de las metodologías de fijación mecánica, pues nuevamente se trata de un junte entre dos materiales totalmente diferentes imposibles de unir por metodologías convencionales.



**Figura 3.19** Ensamblado por metodología compuesta entre junta adhesivo y unión mecánica

En la Figura 3.19 se puede apreciar el proceso de unión entre el Frontal y el Main Frame, a través de las técnicas compuestas entre la unión adhesiva y la mecánica a través de pernos de sujeción.

### **3.3.2.3. Ensamblado de los elementos que conforman el Frontal/Rear Frame y los pilares**

Como se ha mencionado antes, este conjunto de subensambles está constituido en su mayoría por el material aluminio, excepto por los rieles delanteros y posteriores del vehículo, dicho eso en la tabla presentada con anterioridad se percibe varias posibilidades para la conjugación de este tipo de elementos en una sola estructura, para el caso del proyecto se ha de ejecutar por procesos de soldadura de resistencia y por láser.

### **3.3.3. DESARROLLO DEL PRIMER MODELO PARA LA CADENA DE PRODUCCIÓN**

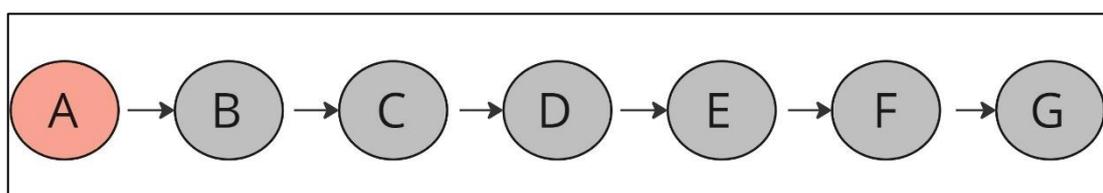
El primer modelo de la cadena de producción se ha desarrollado en función del primer modelo de estructura autoportante compuesta, en la que se tiene como materiales de composición al acero y la fibra de carbono, los datos de partida para este modelo serán los que se proponen en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Datos de partida para el primer modelo

Actividad	Tarea	Tiempo de realización (min)	Tareas precedentes
Conformado CFRP (MF)	A	100	n/a
Ensamblado de MF+FF	B	65,23	A
Ensamblado de (MF+FF) +RF	C	63,12	B
Ensamblado de (MF+FF+RF) +RR	D	41,55	C
Ensamblado de (MF+FF+RF+RR) +ST	E	38,62	D
Ensamblado de (MF+FF+RF+RR) +Troof	F	31,3	E
Ensamblado de (MF+FF+RF+RR+Troof) +Rroof	G	28,93	F
<b>Total</b>		368,75	

### 3.3.3.1. Diagrama de Pert para el proceso de ensamblaje del primer modelo

A partir de estos datos iniciales se ha trabajado en el desarrollo de un diagrama de flujo, a través del cual se ha de identificar el orden de procedencia de las actividades respecto a sus órdenes de prioridad y en función del tipo de actividad a realizarse.

**Figura 3.20** Diagrama de procedencia para la configuración del primer modelo

A través del diagrama de Pert que se presenta en la Figura 3.20 se ha logrado una correcta identificación del orden de seguimiento ideal para un determinado proceso de manufactura.

### 3.3.3.2. Selección de procesos de seguimiento acorde al orden de prioridad

En base al orden de seguimiento que se aprecia en el cursograma de procesos de manufactura para el primer modelo, se ha seleccionado el orden de seguimiento de procesos en función del número de tareas pendientes a realizarse, dicha interpretación se idéntica en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8** Selección de prioridad acorde a las tareas a realizar

<b>Tarea</b>	<b>Tarea siguiente</b>
<b>A</b>	6
<b>B</b>	5
<b>C</b>	4
<b>D</b>	3
<b>E</b>	2
<b>F</b>	1
<b>G</b>	0

### 3.3.3.3. Cálculos generales para el primer modelo

Haciendo uso de las Ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 se ha calculado el tiempo de jornada real, la producción requerida y el tiempo de ciclo de la siguiente manera.

$$Tjr = (480 - 43,2) \cdot 0,9$$

$$Tjr = 393,12 \text{ min/jornada}$$

$$Pr = \frac{10,5}{100} + 10$$

$$Pr = 10,5 \text{ unidades}$$

$$R = \frac{393,12}{10,5}$$

$$R = 37,44 \text{ min}/\left(\frac{\text{und}}{\text{jornada}}\right)$$

Estos valores iniciales han permitido generar la Tabla 3.9 en la que se muestra la clasificación de las estaciones en función del tiempo ciclo y el tiempo estándar, además, se puede apreciar que también se ha identificado la cantidad de técnicos que deberán estar disponibles para la ejecución de las distintas tareas dentro de cada estación de trabajo.

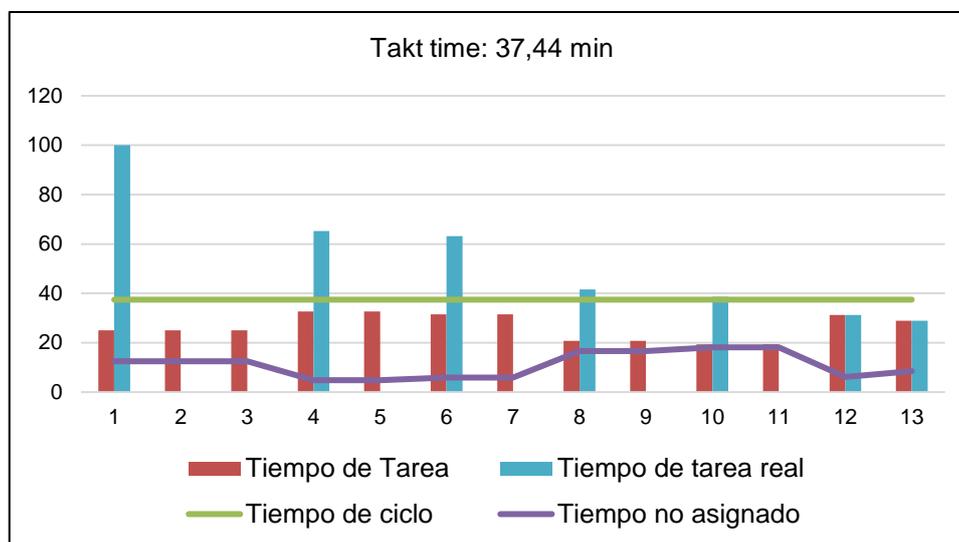
**Tabla 3.9** Datos de balanceo de estaciones para el primer modelo

Número de estación	Tiempo de Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo no asignado	Tarea	Número de técnicos	Tiempo de tarea real
1	25	37,44	12,44	A	3	100
	25	37,44	12,44			
	25	37,44	12,44			
2	32,615	37,44	4,825	B	2	65,23
	32,615	37,44	4,825			
3	31,56	37,44	5,88	C	2	63,12
	31,56	37,44	5,88			
4	20,775	37,44	16,665	D	2	41,55
	20,775	37,44	16,665			
5	19,31	37,44	18,13	E	2	38,62
	19,31	37,44	18,13			
6	31,3	37,44	6,14	F	1	31,3
7	28,93	37,44	8,51	G	1	28,93
min			4,825	NrT	13	

Con la finalidad de desarrollar un balanceo de líneas sin la generación de los cuellos de botella por tiempos estándar de procesos que superan el tiempo de ciclo analizado, se ha trabajado en la categorización de estaciones acorde al número de técnicos.

Es por que se han desarrollado un total de 7 estaciones de trabajo, sub divididas cada una de ellas en sub estaciones acorde a la cantidad de técnicos que sean necesarios para la ejecución de las diferentes tareas. Siendo de esta manera 3 técnicos para primera estación en la que se ejecutará la tarea A, 2 técnicos para la segunda estación en la que se ejecutará la tarea B, 2 técnicos para la tercera estación en la que se desarrollará la tarea C, 2 técnicos para la cuarta estación en la que se ejecutará la tarea D, 2 técnicos para la quinta estación en la que se

trabajará la tarea E y finalmente 1 técnico para el desarrollo de las tareas F y G, que se ejecutarán en las estaciones 6 y 7.



**Figura 3.11** Balanceo de líneas para un takt time de 37,44 min

Como se aprecia en Figura 3.21 se ha obtenido un takt time de 37, 44 min, que será el tiempo de ciclo máximo disponible para la ejecución de las diferentes tareas dentro de cada una de las estaciones. Además, se aprecia que el valor real del tiempo estándar sobrepasa en 5 de las 7 estaciones, es decir si no se generase el proceso de balanceo se generaría un cuello de botella en 5 estaciones lo que automáticamente produciría el paro del proceso de producción, a razón de ello se trabajó en la división de tareas en función del número de operarios necesarios para ejecutar los procesos dentro del ciclo de trabajo o takt time.

$$\eta L = \frac{368,15}{13.37,44}$$

$$\eta L = 75 \%$$

Si se hace un enfoque al tema de tiempos muertos o no productivos que se ha generado en el balanceo de las estaciones, es evidente una posible mejoría de los tiempos estándar acuerdo al tiempo de ciclo, pues en la Figura 3.11 se tiene diferencias que van desde los 4, 825 min hasta los 16, 665 min de tiempo no asignado y en función de este tiempo se han obtenido los valores de eficiencia del 75 % para la cadena de montaje del primer modelo.

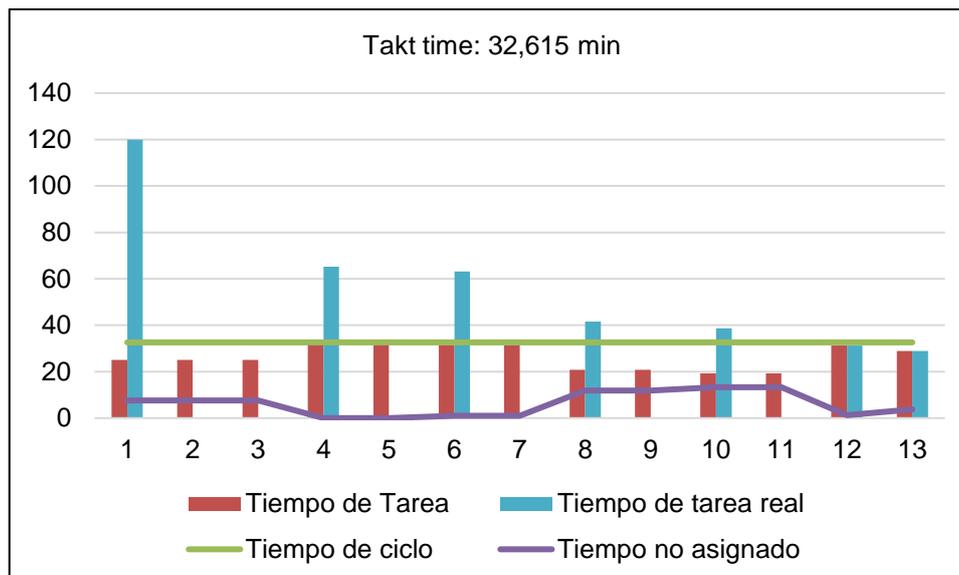
Partiendo de esta perspectiva, se ha trabajado en la reducción del tiempo de ciclo acorde al mínimo valor del tiempo no asignado para cada estación, que el caso es de 4,825 min, y en

función de esta disminución de tiempo a toda la línea se ha podido reducir los espacios de tiempos no productivos para un total productivos y los nuevos valores se han dispuesto en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10** Datos de optimización para el primer modelo

Número de estación	Tiempo de Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo no asignado	Tarea	Número de técnicos	Tiempo de tarea real
1	25	32,615	7,615	A	3	120
	25	32,615	7,615			
	25	32,615	7,615			
2	32,615	32,615	0	B	2	65,23
	32,615	32,615	0			
3	31,56	32,615	1,055	C	2	63,12
	31,56	32,615	1,055			
4	20,775	32,615	11,84	D	2	41,55
	20,775	32,615	11,84			
5	19,31	32,615	13,305	E	2	38,62
	19,31	32,615	13,305			
6	31,3	32,615	1,315	F	1	31,3
7	28,93	32,615	3,685	G	1	28,93
min			0	NrT	13	

En base al nuevo tiempo de ciclo de 32,615 min se ha logrado la disminución del tiempo no asignado para cada una de las 7 estaciones.



**Figura 3.22** Optimización del proceso con un takt time de 32, 615 min

Como se aprecia en la Figura 3.22 se ha pasado de trabajar con tiempos no asignados con un valor mínimo de 4, 825 min a trabajar con valores de 0 min de tiempo no asignado para el caso de la segunda estación. Además, al reducir estos espacios de tiempo no productivo, necesariamente se generará un incremento de la eficiencia acorde al siguiente valor.

$$\eta L = \frac{368,75}{13.32,615}$$

$$\eta L = 86 \%$$

En función de este cálculo se ha pasado de tener una eficiencia del 75% para la línea de producción, hasta mejorarla a un 86%. Este nuevo valor de eficiencia se ve automáticamente reflejado en el aumento del número de unidades a producir y en la reducción del tiempo de jornada necesario para el desarrollo de todo el proceso de producción.

$$Tj = 10,5.32,615$$

$$Tj = 342,46 \text{ min/jornada}$$

$$uP = \frac{393,12}{32,615}$$

$$uP = 12 \text{ und/jornada}$$

En función de estos nuevos datos, se ha logrado mejorar en aproximadamente 2 unidades más a producir dentro del mismo lapso de tiempo de 393,12 min/jornada, y además se ha logrado reducir el valor del tiempo de jornada a 342,46 min/ jornada para el desarrollo de las 10,5 unidades.

### 3.3.4 DESARROLLO DEL SEGUNDO MODELO

Para el desarrollo del segundo modelo, estructura compuesta de Al y CFRP, se ha trabajado en base a los datos de tiempos estándar que se disponen en la Tabla 3.11.

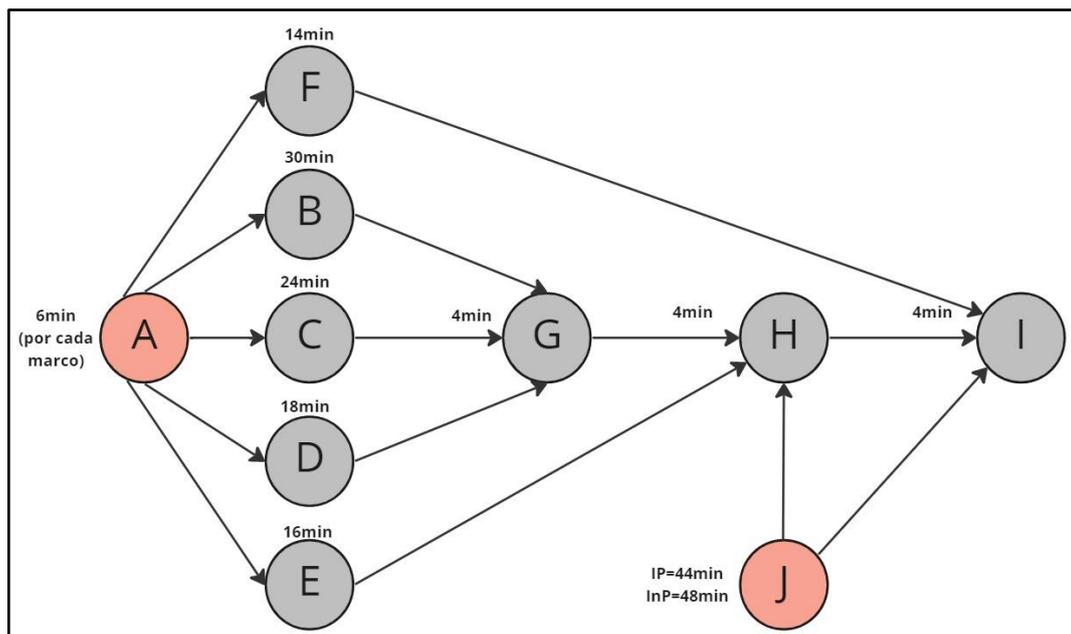
**Tabla 3.11** Descripción de los tiempos de trabajo inicial acorde a cada estación

<b>Actividad</b>	Tarea	Tiempo de realización (min)	<b>Tareas precedentes</b>
<b>Corte de materia prima</b>	<b>A</b>	9,6	n/a
<b>Conformado de MF</b>	<b>B</b>	48	A
<b>Conformado de FF</b>	<b>C</b>	48	A
<b>Conformado RF</b>	<b>D</b>	48	A
<b>Conformado de RR</b>	<b>E</b>	24	A
<b>Conformado de ST</b>	<b>F</b>	12	A
<b>Ensamblado de iFrame</b>	<b>G</b>	48	B, C, D
<b>Distribución CFRP</b>	<b>H</b>	24	n/a
<b>Ensamblado de iF+iP</b>	<b>I</b>	48	E, G, H
<b>Ensamblado de iF+iP+InP</b>	<b>J</b>	48	F, H I
	Total	357,6	

**Fuente:** (Cascante, Alulema, & Mariño, 2019, pág. 10)

#### 3.3.4.1. Diagrama de Pert para el proceso de ensamblaje del segundo modelo

A partir de estos datos iniciales se ha trabajado en el desarrollo de un cursograma de flujo, a través del cual se ha de identificar el orden de procedencia de las actividades respecto a sus órdenes de prioridad y en función del tipo y actividad a realizarse.



**Figura 3.23** Diagrama de procedencia para la configuración del segundo modelo

En base a la Figura 3.23 se ha identificado el proceso ideal, acorde a la disposición de tareas que se ha desarrollado para el proceso de ensamblaje del segundo modelo.

### 3.3.4.2. Selección de procesos de seguimiento acorde al orden de prioridad

Se ha seleccionado el orden de seguimiento de procesos en función del número de tareas pendientes a realizarse acorde al orden de prioridad mencionado en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Ordenamiento de prioridad de tareas

Tarea	A	B	C	D	E	F	G
Tarea siguiente	6	5	4	3	2	1	0

A partir de estos datos iniciales se ha establecido la nueva reagrupación en función de la cantidad de tareas pendientes a realizarse, como lo indica la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13** Selección de prioridad acorde al nuero de tareas pendientes

<b>Prioridad de tarea</b>	<b>Tareas Siguietes</b>
<b>A</b>	8
<b>B, C, D</b>	3
<b>E, G, H</b>	2
<b>F, I</b>	1
<b>J</b>	0

Es necesario recalcar, que este orden de prioridad es factible de utilizar cuando los diferentes procesos funcionan indistintamente los unos de los otros, es decir no funcionan únicamente como una línea de ensamblaje en donde cada proceso tiene un orden secuencia. Para el caso de este segundo modelo se ha encontrado que las tareas J y A, serán las responsables de generar los procesos iniciales dentro de toda la cadena de producción.

### 3.3.4.3. Cálculos generales para segundo modelo

Al igual que el primer modelo, se ha desarrollado el cálculo del tiempo de jornada real, la producción requerida y el tiempo de ciclo de la siguiente manera.

$$Tjr = (480 - 43,2) \cdot 0,9$$

$$Tjr = 393,12 \text{ min/jornada}$$

$$Pr = \frac{10,5}{100} + 10$$

$$Pr = 10,5 \text{ unidades}$$

$$R = \frac{393,12}{10,5}$$

$$R = 37,44 \text{ min}/\left(\frac{\text{und}}{\text{jornada}}\right)$$

$$Nest = \frac{357,6}{37,44}$$

*Nest = 10 estaciones como mínimo*

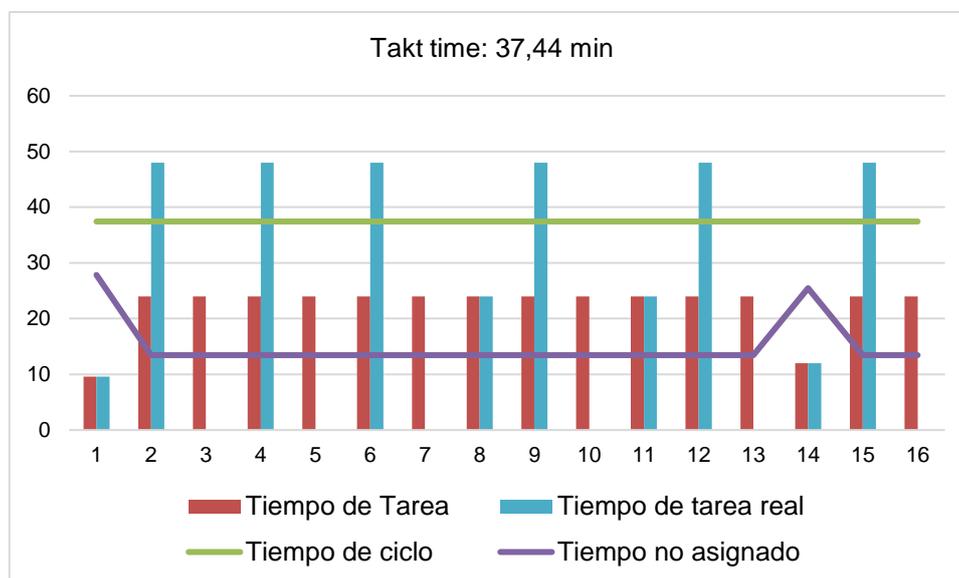
A partir del desarrollo de estos cálculos ha sido factible encontrar los valores del número de estaciones reales, el número de técnicos y la cantidad de tiempo no asignado para cada estación, datos que se disponen en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14** Datos de balanceo de estaciones para el segundo modelo

Número de estación	Tiempo de Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo no asignado	Tarea	Número de técnicos	Tiempo de tarea real
1	9,6	37,44	27,84	A	1	9,6
2	24	37,44	13,44	B	2	48
	24	37,44	13,44			
3	24	37,44	13,44	C	2	48
	24	37,44	13,44			
4	24	37,44	13,44	D	2	48
	24	37,44	13,44			
5	24	37,44	13,44	E	1	24
6	24	37,44	13,44	G	2	48
	24	37,44	13,44			
7	24	37,44	13,44	H	1	24
8	24	37,44	13,44	I	2	48
	24	37,44	13,44			
9	12	37,44	25,44	F	1	12
10	24	37,44	13,44	J	2	48
	24	37,44	13,44			
Min			13,44	NrT	16	

A través del proceso de balanceo se ha encontrado que el número real de técnicos será de 16, distribuidos todos en función de las necesidades de cobertura del tiempo de ciclo, pues como se observa, existen estaciones en donde el valor del tiempo real para el desarrollo de los procesos es superior al tiempo de ciclo de 37,44 min/jornada, lo que dificultaría

solucionar los diferentes cuellos de botella que se llegaran a producir si no se aplicase la metodología de balanceo de líneas de producción.



**Figura 3.24** Balanceo del número de estaciones para el segundo modelo con un tiempo de ciclo de 37, 44 min

La Figura 3.24, muestra los valores de tiempo de tarea, tiempo de tarea real, tiempo de ciclo y el tiempo no asignado para las 16 estaciones de manufactura del segundo modelo. Aquí se ha identificado que apenas 2 estaciones poseen tiempos estándar inferiores a los 48 min/jornada y esto se debe a que estas estaciones deberán generar un mayor número de componentes en el mismo lapso de tiempo que las estaciones principales y de igual manera al tener un menor tiempo de ejecución de procesos estas dos estaciones mantienen un valor de tiempo no productivo superior al resto de estaciones.

Una vez se ha identificado los datos iniciales y se ha desarrollado el cálculo de las variables principales, se procedió con la valoración de la eficiencia para el segundo modelo.

$$\eta L = \frac{357,6}{16 \cdot 37,44}$$

$$\eta L = 59 \%$$

Para este caso se ha obtenido un valor inicial de la eficiencia de 59 % para la cadena de producción, y este valor se debe a que aproximadamente la mitad del tiempo de ciclo está siendo desperdiciado en los tiempos no asignados, puesto que acorde a la Figura 3.24 el valor

mínimo de tiempo no asignado es de 13,44 min/proceso, que si se lo compara con el valor del tiempo de ciclo de 37,44 resulta elevado y es por eso que se evidencia que la planta estará trabajando aproximadamente a la mitad de su capacitada.

Partiendo de esta perspectiva, se ha trabajado en la reducción del tiempo de ciclo acorde al mínimo valor del tiempo no asignado para cada estación, que el caso es de 13,44 min/proceso, y en función de esta disminución de tiempo a toda la línea se ha podido reducir los espacios de tiempos no productivos para un total productivos y los nuevos valores se han dispuesto en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15** Datos de optimización para el segundo modelo

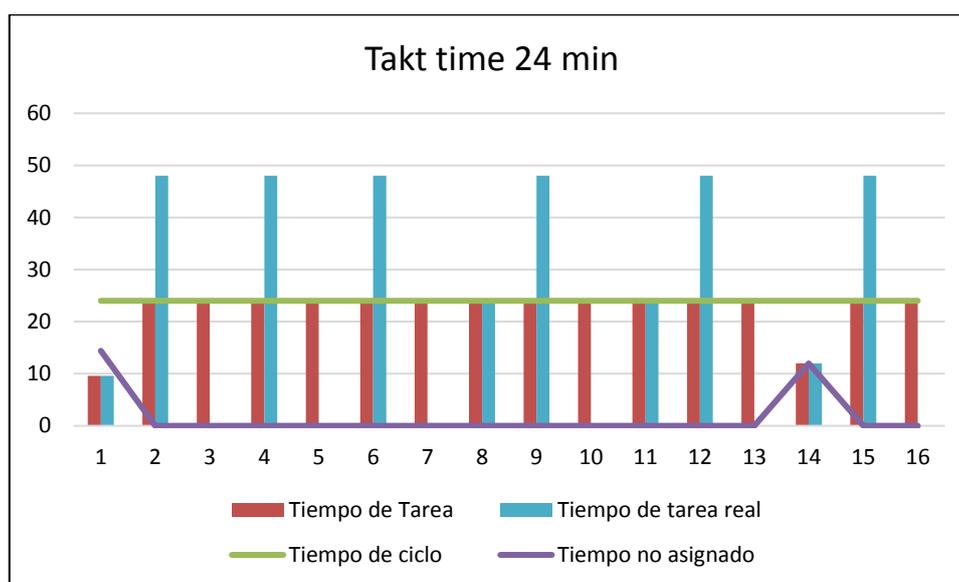
Número de estación	Tiempo de Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo no asignado	Tarea	Número de técnicos	Tiempo de tarea real
1	9,6	24	14,4	A	1	9,6
2	24	24	0	B	2	48
	24	24	0			
3	24	24	0	C	2	48
	24	24	0			
4	24	24	0	D	2	48
	24	24	0			
5	24	24	0	E	1	24
6	24	24	0	G	2	48
	24	24	0			
7	24	24	0	H	1	24
8	24	24	0	I	2	48
	24	24	0			
9	12	24	12	F	1	12
10	24	24	0	J	2	48
	24	24	0			
		Min	0	NrT		16

Contrario a lo que pasaba con el primer modelo, la reducción en este caso si es considerable, pues se ha pasado de trabajar con tiempos no asignados de 13,44 min/proceso a hacerlo con tiempos no productivos de 0 min/proceso, es decir apenas en dos de las 10 estaciones se va

a tener tiempos muertos, mientras que en las restantes 8 estaciones se trabajará conjuntamente con el valor del nuevo tiempo de ciclo, que se ha trabajado mediante la Ecuación 2.6.

$$newR = 37,44 - 13,44$$

$$newR = 24 \text{ min} / \left( \frac{und}{jornada} \right)$$



**Figura 3.25** Optimización para el segundo modelo con un tiempo de ciclo de 24 min en base a la reducción de los tiempos no productivos

Como se evidencia en la Figura 3.25 se ha logrado reducir el tiempo de ciclo a 234 min/jornada lo que se traduce como reajuste de los tiempos no asignados en pro de reducción de los tiempos no asignados en las diferentes estaciones

A partir de este nuevo valor de optimización se puede asumir que la eficiencia de la cadena debería aumentar en función de la reducción de tiempos no productivos, y acorde a este pequeño análisis es posible de corroborar dicha afirmación mediante la Ecuación 2.5 de la siguiente manera.

$$\eta L = \frac{357,6}{16.24}$$

$$\eta L = 93 \%$$

En función de este cálculo se ha pasado de tener una eficiencia del 59% para la línea de producción en el primer paso de balanceo de líneas a mejorarla a un 93% de eficiencia. Como se asumió previamente, el valor de crecimiento es enorme, pues se ha pasado de trabajar a media marcha a hacerlo con una ocupación casi total del tiempo de ciclo.

Finalmente, este mecanismo de optimización refleja sus beneficios en la reducción del tiempo de jornada y el aumento de las unidades a producir para la cadena de producción.

$$Tj = 10,5 \cdot 24$$

$$Tj = 252 \text{ min}$$

$$uP = \frac{393,12}{24}$$

$$uP = 16 \text{ und/jornada}$$

Para el caso del segundo modelo se ha pasado de producir 10,5 und/jornada a producir 16,38 und/jornada, es decir se ha generado un aumento en la producción de aproximadamente 6 unidades más dentro del mismo tiempo de jornada. Por el lado del tiempo de jornada disponible para la producción de las 10,5 unidades se a reducido el tiempo en aproximadamente 142 min, puesto que se ha pasado de trabajar en un tiempo de jornada de 393,12 min/jornada a hacerlo en un tiempo de 252 min/jornada.

### **3.3.4 PRECIO DEL PROTOTIPO FUNCIONAL**

El precio del producto ha sido calculado en función de los valores de pago para cada empleado de cada estación y los costos de adquisición de materia prima, datos que se mencionan en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16** Recursos utilizados para el cálculo de costos

Material	Tipo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total (\$)	
	Dimensión (mm)		Dólar (\$)			
<b>MATERIA PRIMA</b>	Tubería de aluminio de sección rectangular	80x40x2	3	Dólar	73,66	220,98
	Tubería de aluminio de sección rectangular	50x40x2	7	Dólar	57,23	400,61
	Tubería de aluminio de sección rectangular	80x40x3	8	Dólar	73,66	589,28
	Tubería de aluminio de sección rectangular	40x40x3	6	Dólar	57,23	343,38
	Plancha de aluminio	500x1000	5	Dólar	45,72	1554,25
	CFRP		5	Dólar	1279	6395
	<b>Sub-Total (\$)</b>					<b>7949,25</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	Tipo	Cantidad	Unidad	Precio/ hora (\$)	Total (\$)	
	Estaciones		jornada			
	Preparación					
	CNC	1	jornada	6,34	50,72	
	Proceso					
	MF	2	jornada	6,34	101,44	
	FF	2	jornada	6,34	101,44	
	RF	2	jornada	6,34	101,44	
	RR	1	jornada	6,34	50,72	
	SandO	1	jornada	6,34	50,72	
	Acabado					
	As1	2	jornada	6,34	101,44	
	As2	2	jornada	6,34	101,44	
	Despacho					
	As3	2	jornada	6,34	101,44	
<b>Sub-Total (\$)</b>					<b>760,8</b>	
<b>Total (\$)</b>					<b>8 710,05</b>	

A partir de esta primera valorativa se ha calculado, acorde a lo que se muestra en la Tabla 3.17 el valor de gastos totales y el margen de ganancia de utilidad para el desarrollo de una estructura compuesta a base de aluminio y CFRP

**Tabla 3.17** Precio del producto en función del gasto y la utilidad

<b>Precio del producto</b>	<b>(\$)</b>
Gasto total	8 710,05
Utilidad	1 742,01
<b>Total</b>	<b>10 452,06</b>

En base a los cálculos realizados se puede apreciar que se ha obtenido un valor de 10 452,06 \$ para el desarrollo de un prototipo de estructura bajo las diferentes condiciones mencionadas a lo largo del documento.

#### **3.3.4.1 Precio de un prototipo con sistemas adicionales**

A los costos de producción de la estructura se han de añadir los costos de los demás sistemas, por ejemplo, el de energía, tal y como se muestra en la Tabla 3.18.

**Tabla 3.18** Costos del sistema de energía

<b>Electric system cost for eV.</b>	
<b>Component</b>	<b>2022</b>
Battery pack	9000,00
Termal Management	250,00
Power distribution module	240,00
Inverter	630,00
Electric Drive	800,00
DC converter	140,00
Controller	50,00
Control module	90,00
Hight voltage cables	520,00
On-board charger	510,00
Charging cord	140,00
<b>Total</b>	<b>12 370,00</b>

**Fuente:** (Michalos, Papakostas, & Mourtzis, 2010, pág. 38)

A estos costos se incluirá aquellos valores por instalación de los sistemas de suspensión y dirección, los cuales se mencionan en la Tala 3.19.

**Tabla 3.19** Costos de un sistema de dirección

<b>Concepto</b>	<b>Precio (\$)</b>
<b>Tubo de acero</b>	75
Aluminio	250
Fibra de carbono	100
Volante	250
buje de plástico	5
anillo de seguridad	5
piñón cremallera	600
junta universal doble	75
Kit de liberación	60
juntas y tornillo	20
pegamento	20
<b>Total (sistema de dirección)</b>	<b>1 460</b>
<b>Total (sistema de suspensión)</b>	<b>1 625</b>
<b>Total</b>	<b>3 085</b>

Fuente: (Garcia, 2018, pág. 33)

Con base a toda la sumatoria de los diferentes costos de elementos necesarios para la conformación de un modelo de prototipo con la estructura trabaja en el presente documento, se ha obtenido el precio final, mencionado en la Tabla 3.20.

**Tabla 3.20** Precio del prototipo

<b>Precio del prototipo (\$)</b>	
<b>Estructura</b>	8 710,05
<b>Suspensión</b>	1 625
<b>Dirección</b>	1 460
<b>Potencia y energía</b>	12 370
<b>Utilidad</b>	4 833,01
<b>Total</b>	<b>28 998,06</b>

### 3.4 SIMULACIÓN DE CADENA DE PRODUCCIÓN

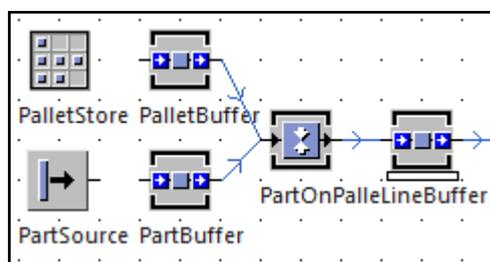
Como era de esperarse la corrida del modelo de simulación se ha ejecutado de manera diferente para cada uno de los dos modelos, y esto se debe a las diferentes variables que se ha mencionado a lo largo del documento, es por ello que para el caso del primer modelo se lo ha trabajado como un sistema de ensamblaje en donde el único componente que se ha de producir será el Main Frame de fibra de carbono; por otro lado para el caso del segundo modelo se lo ha trabajado como un sistema de producción en el que contrario al primer modelo, de todos los elementos, los únicos que no se fabricarán son aquellos a base de fibra de carbono.

#### 3.4.1 CORRIDA DEL PRIMER MODELO

Como ya se ha mencionado en el capítulo de modelado de la cadena de producción, el primer modelo se encuentra en función de las 7 estaciones mínimas para la cadena de ensamblado y consta además con dos estaciones extras para la conformación del marco principal.

##### 3.4.1.1 Definición de la primera estación (Salida del mainframe)

Para la generación de la primera estación, se ha hecho uso de las siguientes herramientas proporcionas en la carpeta Material Flow del Class Library que se dispone en el software plant simulation:



**Figura 3.26** Estación de moldeo y curado del Main Frame

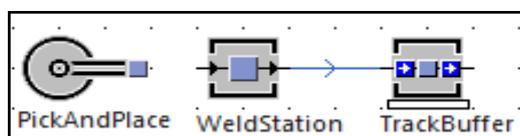
Cada elemento que se ha dispuesto para la creación de la primera estación tiene un objetivo específico dentro de la generación del cuerpo principal tratado en el programa como MainFrameTW (Cuerpo principal del Twizy), que hará las veces de MU (Unidad Movil)

principal para el posterior montaje de los otros subensambles que se acoplarán aguas adelante en la cadena de producción.

En la Figura 3.16 se logra apreciar PalletStore que es básicamente el almacén del cual se han generado las mesas transportadoras de la MU (Principal), al tratarse de los primeros modelos de la cadena de producción se ha de aplicar un valor de 10000 para la capacidad de producción de esta Store. A continuación, se ha dispuesto un almacén del tipo Buffer (PalletBuffer) que será el encargado de almacenar de manera momentánea todas las Mus (Unidades móviles) del tipo Pallet. Por el otro extremo se ha conjugado una dupla entre una entrada (Source) comandada por un método (CreateObjects) y otro almacén momentáneo (PartBuffer) quien almacenará de manera ilimitada (-1) los distintos MainFrameTW que lleguen hasta ese punto. Finalmente se tiene el acople de un punto de encuentro (PartOnPallet) en el cual se ha de montar la MU (principal) sobre el pallet y posterior a ello dicho conjunto será llevado hasta el último almacén momentáneo (LineBuffer) con capacidad de espacio para 4, será hasta este punto que ya se ha iniciado con el desarrollo de la primera y principal estructura del Renault Twizy.

### 3.4.1.2 Definición de la segunda estación (Soldado del mainframe)

Como bien se lo especifica en esta línea se ha de establecer las herramientas necesarias para la simulación de una estación de soldadura, ya que se pretende que sea aquí donde el Main Frame TW se acople a los pilares principales frontales.



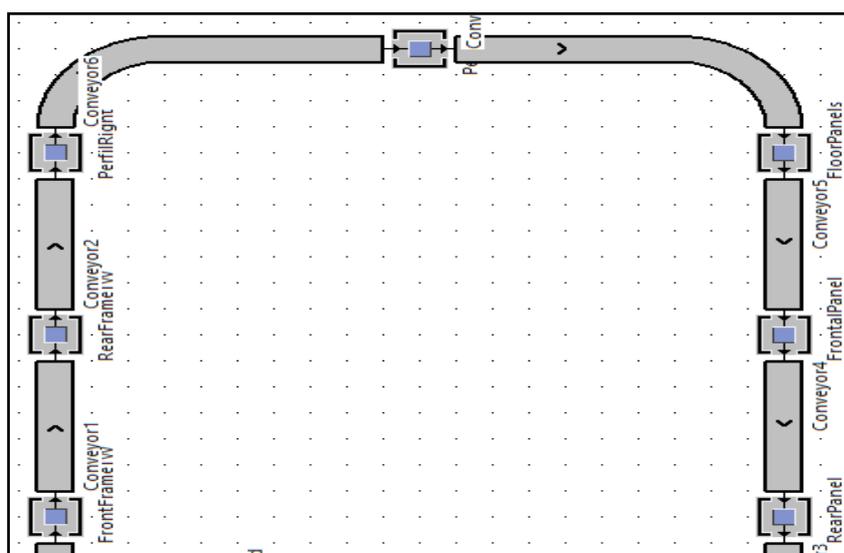
**Figura 3.27** Segunda Estación

En este punto se hace uso nuevamente de un almacén momentáneo (Track Buffer), como se evidencia en la Figura 3.27, pero en esta ocasión, será el encargado de almacenar la estructura completa del Main Frame TW montada sobre el pallet. Dicha estructura será desarrollada en la primera estación de trabajo (Weld Station) comandada de manera automática por los comandos propios de las estaciones, que para este caso hará las veces de símil de un punto de soldadura en el que se pretende acoplar los pilares frontales a la estructura tipo

escalera, para este proceso se establecido un tiempo constante de 2 min por cada estructura a desarrollar. Sin embargo, todo el proceso sería inválido si no se hubiere hecho uso de la herramienta Pick And Place, quien básicamente actúa como un brazo robótico capaz de mover las MUs (Unidades móviles) desde una estación hasta otra de las mismas o de diferentes características y que para el modelo actual permitió el traslado de los elementos del Main Frame TW dispuesto sobre primera caminadora (Line Round) hasta la estación de soldado (Weld Station).

### 3.4.1.3 Definición de la tercera estación (Línea de ensamblaje)

La línea de ensamblaje está caracterizada por contar con un total de 7 estaciones que harán las veces de puntos de ensamblado específico para cada subensamble que se ha de montar sobre el Main Frame TW.



**Figura 3.28** Línea de ensamblaje

Una vez ha concluido el proceso de soldado, especificado en el paso anterior, y además se ha mandado la estructura principal hasta el almacén momentáneo “Track Buffer”, es hora de activar complementos adicionales que sean capaces de trasladar dichas estructuras hacia la línea de ensamblaje subsiguiente, es así que para este propósito se hace uso de las UM(Cart) tipo transporter, quienes se manejan por la activación del código generado en su respectivo método (Sensor Check Track) quien validara si la UM(Principal) está disponible para embarcarse hasta su siguiente línea de montaje.



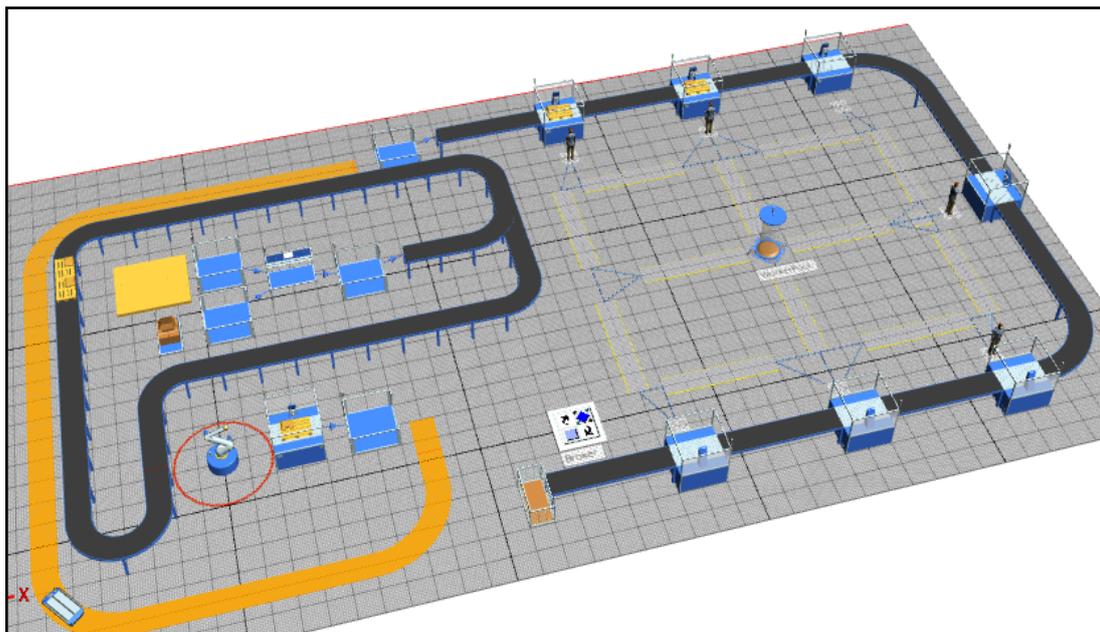
Para el desarrollo de las diferentes tareas en cada estación de ensamblaje será necesario el implemento de un puesto de trabajo (Worker Place), ya que serán estos los puntos específicos donde los diferentes trabajadores podrán realizar las diferentes tareas de montaje y acople entre estructuras. Una vez establecido estos puntos de trabajo, lo ideal será definir trabajadores que ocupen dichas estaciones, para ello existe la herramienta de Resources conocida como Worker Pool, quien permitirá la creación de los empleados, que para el caso particular de la planta se ha subdividido en dos categorías; la primera se denomina como Senior y este tipo de trabajador será cas de realizar tareas del tipo Experto y del tipo básico, la segunda categoría serán los Juniors, quienes solo serán capaces de ejecutar tareas básicas, si se hiciere un símil a la realidad los primeros trabajadores serían los maestros y los otros vendrían siendo los ayudantes.

#### **3.4.1.5 Definiciones adicionales**

Como puntos adicionales se puede mencionar que en la mayoría de los casos se ha hecho uso de métodos que permiten dentro del proceso de producción, ejecutar acciones específicas por parte de las MU y de los diferentes elementos que se dispongan dentro de la cadena de producción.

Ahora bien, por otro lado, vale la pena mencionar que la estética a la hora de presentar este tipo de simulación siempre es bien recibida, es así que para el caso particular se ha decidido gestionar una pantalla que sea capaz de controlar los diferentes aspectos del proceso de producción.

En la imagen se presenta tres categorías; la primera se refiere a todos los métodos que permiten la ejecución idónea de la planta, es aquí donde se han colocado además las diferentes tablas que comanda los diferentes tiempos de procesamiento de cada estación de trabajo; la segunda categoría tiene que ver con el control de total de los tiempos, pues como se puede apreciar aquí también ingresan los métodos de inicio y reseteo del modelo; finalmente la última categoría tiene que ver con el modelo grafico de la planta de producción.

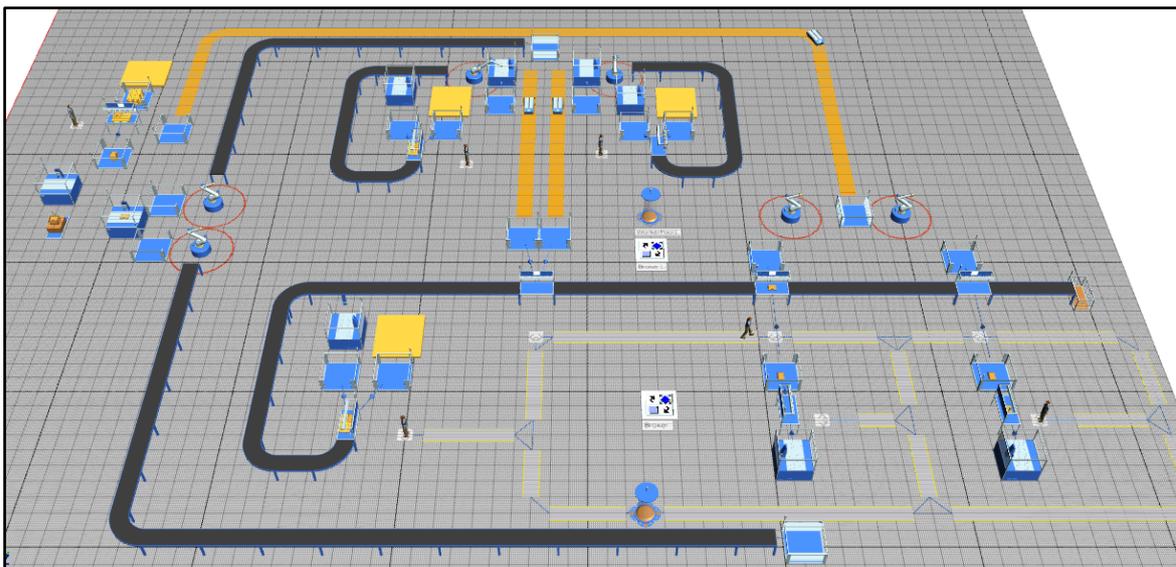


**Figura 3.30** Modelado 3D de la cadena de producción inicial

La Figura 3.30 presenta el modelo tridimensional que simula el ensamblaje de la estructura autoportante del Renault Twizy, es lo mismo que se ha explicado en pasos anteriores, pero con la diferencia de que sus elementos se encuentran en un espacio más apegado a la realidad. Además, como se logra notar los diferentes elementos toman sus respectivas formas de modelado en 3D, siendo factible de intercambio de cualquiera de ellas a través del comando exchange icon.

### 3.4.2 CORRIDA DEL SEGUNDO MODELO

Una vez se ha desarrollado el modelo base del cual se puede partir para la conformación de la factoría de desarrollo de la estructura autoportante del Twizy con paneles de fibra de carbono, es hora de desarrollar el modelo final de la factoría que se encargara de desarrollar este tipo de estructura.

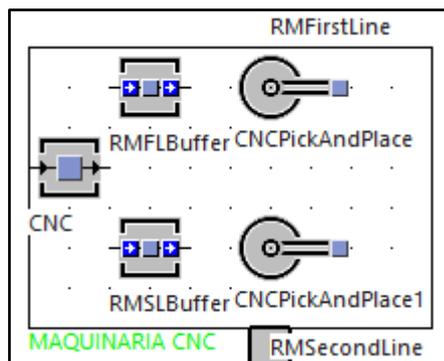


**Figura 3.31** Modelo 3D de la cadena de ensamblaje para 10 estaciones

Acorde a la Figura 3.31 se ha tomado referencia de las estaciones del modelo base y se lo ha generado de manera más específica para el tratamiento de cada uno de los elementos que han de conformar la estructura, quedando distribuida de la siguiente manera y mencionándose además que se ha aumentado una estación más que ha de funcionar de manera remota puesto que esta ejecutada por una maquinaria CNC.

#### **3.4.2.1 Primera estación (CNC Machine)**

Establecida como la estación principal de todo el proceso de ensamblado del IFrame; será aquí donde se practique todas las técnicas de cortado de la materia prima a base de Aluminio y Acero. Se ha seleccionado la maquinaria CNC por el efecto positivo que tienen a la hora de mejorar la eficiencia y el rendimiento en cuestiones de manufactura, además de que son muy precisas a la hora de ejecutar algún tipo de proceso.



**Figura 3.32** Maquinaria CNC, 10 estaciones

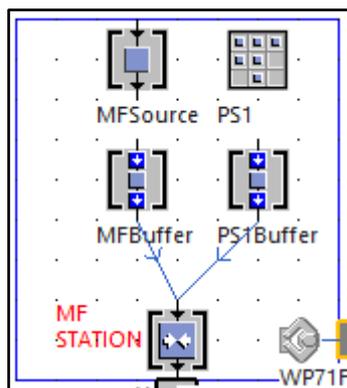
Como se aprecia en la Figura 3.32 para la simulación dentro del programa se ha dispuesto de una Station (CNC) que será la encargada de recibir toda la materia prima acorde a la llegada de los recursos que proveerá el Source (Raw Material), dentro de la maquinaria para cada proceso de corte de la materia prima (Raw Material) se ha establecido un tiempo máximo de 6 minutos por cada operación, utilizándose en total un tiempo de 30 min para el corte de todos los elementos que han de conformar el IFrame.

En la imagen se presenta además dos Buffer (RMFL Buffer/RMSL Buffer), haciendo referencia a los almacenes momentáneos para cada una de las dos líneas que han de llevar la materia prima ya cortada a cada una de las estaciones en las que posteriormente se han de soldar cada uno de los elementos de los Frames.

Finalmente, dentro de la primera estación se ha establecido un distribuidor (Pick And Place) por línea, dichos elementos se ha de encargarse de transportar la materia prima hacia las líneas que para el caso de la primera lo haría CNC Pick And Place, mientras que para el caso de la segunda línea se lo hará con el uso de CNC Pick And Place 1.

### 3.4.2.2 Segunda estación (Conformado del Main Frame)

Una vez la materia prima ha salido de la línea de la CNC machine, el paso posterior será llevarla a través de las bandas de distribución hasta la segunda estación que para el caso será la encargada de conformar la estructura principal que para el caso se la ha denominado como main frame.



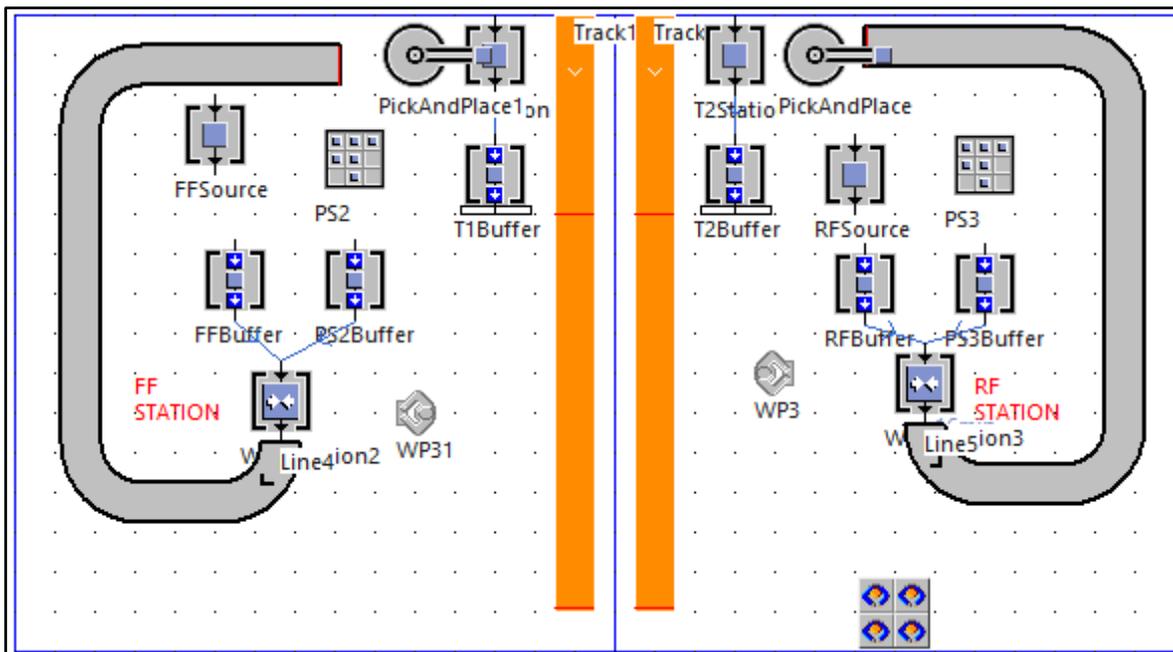
**Figura 3.33** Main Frame station, 10 estaciones

La estación está distribuida de manera tal que pueda producir una unidad cada 20 min, contados a partir de que la materia prima ingresa a la estación, el elemento que se encargará de llevar la materia hasta la estación mencionada y a más adelante lo hará para el Roof Rail y para los Suspension Towers, está establecido como FLBuffer.

Una vez la materia prima arriba a la estación principal será manejada a través del Source(MFSource) que a su vez ha de activar al primer paquete de pallets (PS1), consecuentemente tanto la materia prima (para el caso IFRMMF) como los pallets serán dirigidos hasta sus respectivos Buffers, donde se almacenaran de manera momentánea hasta ser enviados hasta la Assemblystation(WeldStation1), estación que se encargara de unir la MU, para el caso la materia prima del main frame a los pallets y finalmente ser llevados como una unidad hasta la primera estación de ensamblaje(IFrameAssemblyStation). Los elementos necesarios para este proceso se mencionan en la Figura 3.33.

### 3.4.2.3 Tercera Y cuarta estación (Conformado del frontal y el rear frame)

De manera simultánea a la que se desarrolla el Main Frame en la estación número 2, se debe ejecutar los procesos de soldado tanto para el frontal como el rear frame, al ser procesos similares se ha dispuestos ambas estaciones de manera paralela.



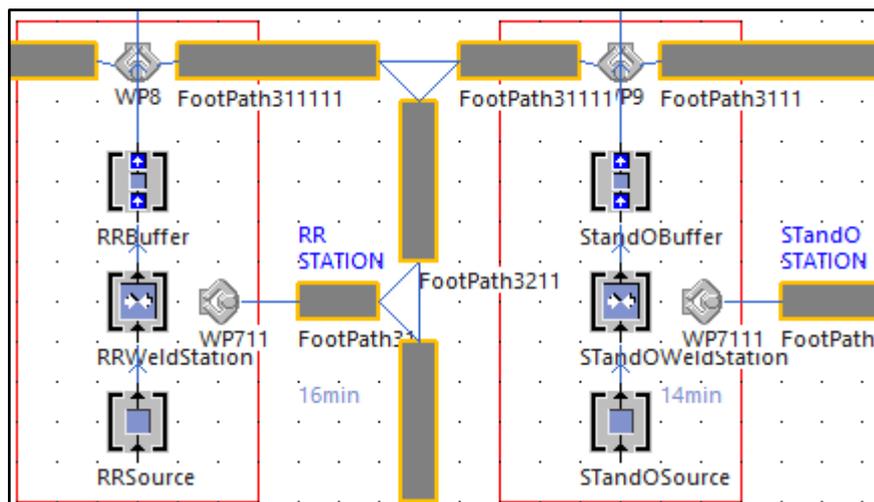
**Figura 3.34** Frontal/Rear Frame, 10 estaciones

En la Figura 3.34 se logra apreciar que la estación que se encargara de generar el Frontal Frame está dispuesta primera a razón de que será ella quien recpte primero la materia prima, con tiempo de diferencia de 6 minutos respecto a la encargada de conformar el Rear Frame.

Para cada una de las estaciones se ha dispuesto de un Source (FFSource y RFSource) y de un PalletStore(PS2 y PS3), mismas que han de ejecutar acciones similares a las ya explicadas con el main frame y finalmente llevaran las MU( IFRAFF y IFRMRF) a sus respectivas unidades de soldadura (WeldStation2 y WeldStation3), para que acto seguido sean trasportadas a través de una banda hasta sus respectivos PickAndPlace que embarcaran cada uno de los marcos(Frontal y Rear Frame) a un Transporter(Cart1 y Cart2), mismo que se encargará de llevarlo hasta la IFrameAssemblyStation, estación en la que junto al MainFrame conformaran el denominado IFrame.

#### 3.4.2.4 Quinta y sexta estación (Conformado de los Roof Rails y de las torres de suspensión)

Una vez completado la primera etapa en la que se ha de formar el IFrame o marco principal a base de aluminio y acero, es hora de continuar con el proceso de conformación de los elementos faltantes dentro de la cadena de ensamblado.



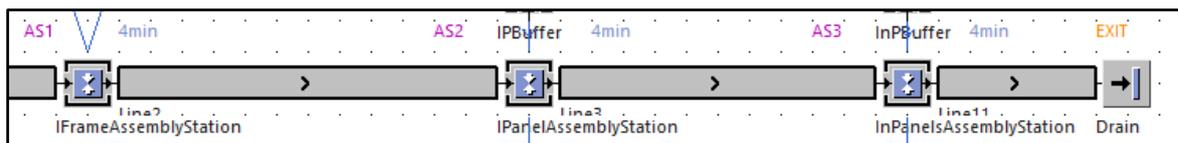
**Figura 3.35** Roof rails/Suspention station, 10 estaciones

Para ello se ha dispuesto dos estaciones más, que para el caso de la encargada de conformar los roof rails se ha de acoplar a posteriori con la unidad de ensamblado número 2 (Ipanel Assembly Station), mientras que para las torres de suspensión se ha de adjuntar a la estación de ensamblado número 3 (InPanel Assembly Station), todo este proceso se evidencia en la Figura 3.35.

Cada una de las estaciones se ha de ejecutar en un inicio a través de un Source (RRSource y SandOSource) quien se encargará de receptor las MU (IFRMRR y IFRMSandO) provenientes del FLBuffer y llevarlas hasta sus respectivas unidades de soldadura (RRWeld Station y SandOWeld Station), para acto seguido conducir los elementos ya soldados hacia sus respectivos almacenes momentáneos, en los que se han de quedar hasta tener la orden de seguir hasta sus respectivas líneas de ensamblaje que serán activadas al concretarse la llegada del resto de elementos necesarios para conformar los respectivos ensambles en cada una de las estaciones.

#### **3.4.2.5 Estaciones de ensamble (IFrame Assembly Station, Ipanel Assembly Station y InPanel Assembly Station)**

Como punto final dentro de la cadena de ensamblaje se hace mención a las tres estaciones que se encargaran de receptor los elementos y conformarlos en otros nuevos acordes a la estación en la que se encuentren.



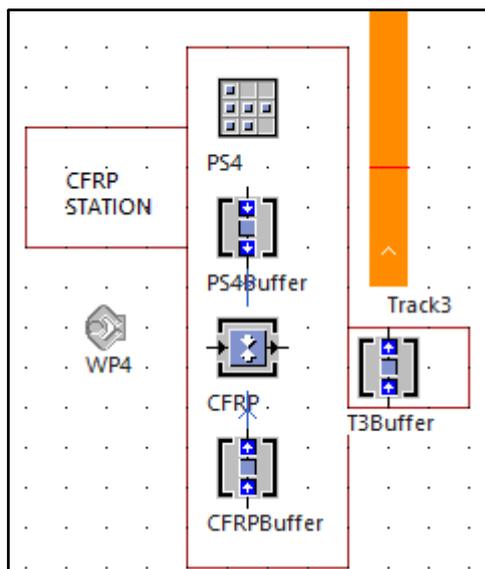
**Figura 3.36** Assembly Stations/ 10 estaciones

Básicamente se trata de tres Assembly Station en las que se ha establecido diferentes tiempos acorde a la Figura 3.36 y en función de las necesidades de ingreso y salida de cada uno de los sub ensambles , es así que en la primera estación(Iframe Assembly Sation) generará el IFrame en un tiempo aproximado de 10 minutos por unidad, la segunda estación(IPanel Assembly Station) conformara RT\_WIpanels en un tiempo aproximado de 6 minutos y finalmente la tercer estación (InPanel Assembly Station) generará RT\_Final Version, que será la autoportante compuesta a base de aluminio, acero y fibra de carbono.

#### 3.4.2.6 Proveedores (Estación de distribución de elementos de fibra de carbono CFRP)

A fin de acercarse más a la realidad se ha generado una estación adicional fuera de la cadena de ensamblaje que harán la función de proveedores de primer nivel que se encargarán de llevar los componentes a base de fibra de carbono hasta las dos últimas estaciones de ensamblaje.

Como se ha mencionado en el capítulo de modelado de la cadena, no se ha establecido estaciones que se encarguen de generar o producir elementos de fibra de carbono ya que esto resultaría perjudicial a nivel económico por los altos valores de instalación de la diferente maquinaria necesaria para producir componentes con este elemento.



**Figura 3.17** CFRP Raw material station/ 10 estaciones

Como se aprecia en la Figura 3.37 se ha dispuesto un track Line(Track3) que ha de cubrir la mitad del área de la factoría, por dicha línea se transportaran los diferentes elementos a base de CFRP proveniente de la estación denominada como CFRP Station hasta el almacén momentáneo denominado como Track3Buffer, en el cual se quedarán esperando la llamada de los Pick And Place respectivos para cada una de las estaciones de ensamblaje, pasando con anterioridad por los respectivos Buffer (IPBuffer y InPBuffer), finalizando de esta manera con el proceso de generación del modelo autoportante.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

Se aplicó el concepto de reingeniería para el desarrollo de una estructura CAD, en base al modelo autoportante de Renault Twizy. Para ello se trabajó con las directrices de un proceso de reingeniería; para la fase de selección se hizo uso de los diagramas de Ashby, a través de los cuales se resolvió que el CFRP y el Acero eran los únicos materiales que pasaban las restricciones de la pendiente de grado 3. A partir de allí, se corroboró los resultados de Ashby mediante los índices de maximización de valores respecto al peso y la economía, desde este punto de análisis se obtuvo que de todos los elementos el CFRP con un índice  $M_1$  de  $8,92 \times 10^{-3}$ , el magnesio con un valor de  $3,93 \times 10^{-3}$  y el aluminio con un índice de  $3,39 \times 10^{-3}$ , son quienes mejorarían la configuración de la estructura en función de la reducción de su masa, mientras que el acero con un índice  $M_2$  de  $3,29 \times 10^{-3}$ , es quien se lleva la delantera en cuanto a la reducción de costos.

Dentro de la temática del modelado de la cadena de producción se desarrolló 2 modelos de manufactura; para el caso del primer modelo se logró mejorar la eficiencia de producción en un aproximado de 11% respecto al valor inicial de 75% de eficiencia lo que automáticamente ayudó a aumentar la cantidad de unidades que se producirían dentro del tiempo de 392, 12 min/jornada ya que se elevó en dicho valor a dos unidades más, mientras que en el caso del tiempo de jornada se evidenció una reducción de 50 min/jornada para el desarrollo de las 10, 5 unidades. Por el lado de la configuración del segundo modelo se optimizó la línea hasta un valor del 93 % respecto a su valor de partida de 59%, este valor de aumento de la eficiencia se obtuvo gracias a que se disminuyó a cero los tiempos no productivos de la mayoría de estaciones número de unidades a producir. En ambos modelos se precisó el uso de un trabajador por cada estación.

Se logró calcular que los valores de un posible prototipo de estructura autoportante, bajo los conceptos tratados a lo largo de este trabajo, ascenderían a un aproximado de 10 452,06 \$. Teniendo en cuenta que al valor inicial de 8 710,05 \$ por gastos de operación, se le añadió

los costos de manufactura de un sistema de suspensión de 1 625 \$, los de un sistema de dirección de 1 460 \$, los del sistema de potencia de 12 370 \$ y valores de utilidad del 20% se ha logrado definir que el posible precio de venta de un prototipo vehicular con las mencionadas características estaría rondando entre los 28 998,06 \$.

Para simulación dentro del software plant simulation, se ha aplicado los datos obtenidos en la modelización y en función de ello; para el primer modelo se ha simulado una cadena de ensamblaje, ya que el único componente que se procesa desde cero es el Main Frame de CFRP, mientras que por el lado del segundo modelo en el cual se conforma la estructura compuesta de Al y CFRP, se ha trabajado con mecanismos que se asemejen a los proveedores de primer nivel.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

En el trabajo se ha seleccionado una estructura compuesta a base de Aluminio, acero y CFRP en porcentajes de 67%, 26% y 7% respectivamente. Para futuros proyectos se podría pensar en cambiar los porcentajes de cada material o el material como tal, ya que existe una gran variedad de materiales como el magnesio y el titanio, o materiales compuestos como el GFRP, que se han mencionado en este documento y que podrían alterar la estructura final así como aportar dentro del proceso de producción por ejemplo al variar los gastos de producción y de adquisición de materia prima.

Uno de los puntos más complicados de tratar en el ambiente del software de simulación de Siemets fue el desarrollo de los métodos para la gestión y control de la factoría. Por lo tanto, se recomienda tener cuidado a la hora de trabajar en este tipo de softwares en los que se puede tratar varios frames a la vez, ya que la herencia que debe tener el código respecto al objeto, el frame y el método es vital para generar el correcto llamado de elementos de flujo de material.

Para futuros trabajos se recomienda indagar de primera mano en el entorno de empresas locales que se dediquen al ensamblaje de estructuras vehiculares a fin de valorar el promedio de tiempos estándar para el desempeño de tareas específicas como soldar, pulir, cortar, entre otras.

Es recomendable trabajar en nuevos enfoques de variables que alteran la manera en la que se constituye una estructura; como es el caso del coeficiente de rozamiento, la resistencia aerodinámica y la ubicación del centro de gravedad, y como sus diferentes configuraciones afectan al diseño y construcción de una estructura vehicular.

La cadena de manufactura que se desarrolló en el texto se enfoca únicamente en la producción de la estructura autoportante. Por lo tanto, para un futuro trabajo se recomienda desarrollar el resto de las líneas que ayudarían a complementar las etapas para la constitución total de un vehículo eléctrico. Bajo ese concepto se debería trabajar en el desarrollo de la línea de pintura, la línea de ensamblaje de elementos del chasis y la línea de ensamblaje del tren de energía y potencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Libros

- Balkey, K., A. D., Guzmán, L., Webster, M., & Weinman, S. (2019). *Ejemplos de uso de códigos y normas para los estudiantes de ingeniería mecánica y otros campos*. ASME.
- Rivas, A., Rivero, J., Aguilar, V., & Taboada, Á. (2017). *SOFTWARE: PLANT SIMULATION TECNOMATIX 11 R2*. Mexico: SEP.
- Rivas, J. (2004). *TÉCNICAS DE MODELADO Y SIMULACIÓN*. Cataluña: Labson.
- Rodríguez Vilches, R. (2017). *Simulación de un proceso de fabricación*. Navarra.
- Schlott, S. (01 de 01 de 2018). De la construcción de carros a la construcción de alto rendimiento. *ATZ Worldw*, 120, 6-7.

### Artículos en libros

- Liu, X., & Luo, Q. (2019). Diseño innovador de carrocería de vehículos eléctricos basado en el Instituto de Seguros para Condiciones de Impacto Lateral de Seguridad en Carreteras. *Innovación automotriz*, 201-211.
- Materiales utilizados en la fabricación de automóviles y selección de materiales mediante tablas de Ashby. (2018). *Revista Internacional de Ingeniería de Materiales*, 8(3), 40-54.
- R.K., M. (2017). Simulation Modelling using Practical Examples. En *A Plant Simulation Tutorial* (págs. 4-10). Netherlands: University of Twente.
- Ribes, H. (2019). Aplicaciones de aluminio en diseño liviano para vehículos comerciales pequeños y camionetas. *ATZproduction en todo el mundo*, 6, 42-45.
- Hortensia, M. (2013). IMPORTANCIA DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO. *Área de investigación: Entorno de las Organizaciones*. México, D.F.

- Jason , D., Veale , K., Adali , S., & Leverone , F. (2018). Diseño conceptual y validación numérica de un chasis de vehículo de pasajeros solar monocasco compuesto. *Ciencia y tecnología de la ingeniería, una revista internacional*, 21(5), 1067-1077.
- Kollmeier, M., Kwast, T., Sedlmayr , M., & Gehringhoff , L. (2019). Plataforma de carrocería modular para movilidad eléctrica. *ATZ en todo el mundo volumen*, 121, 16-21.
- Kutin , A., Dolgov, V., Podkidyshev, A., & Kabanov, A. (2018). Modelado de simulación de procesos de ensamblaje en fabricación digital. *Procedia CIRP*, 67, 470-475.
- Materiales utilizados en la fabricación de automóviles y selección de materiales mediante tablas de Ashby. (2018). *Revista Internacional de Ingeniería de Materiales*, 8(3), 40-54.
- Parlaktas, V., Tanik, E., Babaarslan, N., & Burak, C. (2019). The Design and Manufacturing Process of an Electric Sport Car (EVT. *Iranian Journal of Science and Technology*.
- Pérez Rodríguez, R., & Hernández Aguirre, A. (2018). *Simulación de procesos de producción en configuración Jobshop*. Aguascalientes: CIMAT.
- Piskun, A. (2017). Los desafíos a los que se enfrenta el diseño de carrocerías. *ATZ en todo el mundo*, 119, 74.
- .

## Revistas

- BESEL, S.A. (2008). Situación y perspectiva para la automoción. En S. BESEL, *Nuevos combustibles y tecnologías de propulsión* (pág. 120). Madrid: IDAE.
- Bhatia, J., & Russ, G. (2020). *Annual Report 2019-2020*. New York: ANSI.
- Adamski, D. (2020). *Simulación en tecnología de chasis*. Springer.
- Aiyan, M., Sagar, u., & Raghav, S. (s.f.). Design and Optimization of an Electric Car Chassis. *Research Square*.
- Čulík , K., Harantová, V., & Hájník , A. (2020). Software CAD que se utiliza para diseñar entornos de tráfico. *Procedimientos de investigación de transporte*, 44, 248-254.

Duarte, G. (2018). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Lima: DIDP.

Gutgsell, M. (2019). Adhesivos de inyección para la construcción de carrocerías de vehículos. *ATZproduction en todo el mundo*, 6, 10-15.

Kollmeier, M., Kwast, T., Sedlmayr, M., & Gehringhoff, L. (2019). Plataforma de carrocería modular para movilidad eléctrica. *ATZ en todo el mundo volumen*, 121, 16-21.

Luccarelli, M., Tobias, D., Pasquale, S., & Lienkkamp, M. (s.f.). Purpose Design for Electric Cars.

Medina, G., Chicaiza, E., Vicente, S., Ramírez, F., Furlán, L., & Castillo, P. (2014). *NORMA DE NORMAS. PRINCIPIOS DE NORMALIZACIÓN*. Quito: INEN.

Mikolajczyk, T., Malinowski, T., & Moldovan, L. (2019). Sistema CAD CAM para la fabricación de diseños híbridos innovadores mediante impresión 3D. *Fabricación de procedimientos*, 32, 22-28.

Granrath, C., Meyer, M.-A., Andert, J., Ewald, J., Klink, R., Stroh, C., . . . Hegazy, O. (2020). EleMA: una arquitectura de modelo de simulación de referencia y un estándar de interfaz para el modelado y prueba de vehículos eléctricos. *eTransporte*, 4(100060).

Yumkella, K., & Bryden, A. (2010). *Organismos Nacionales de Normalización en Países en Desarrollo*. Ginebra: ISO.

### **Documentos de internet**

Čulík, K., Harantová, V., & Hájník, A. (2020). Software CAD que se utiliza para diseñar entornos de tráfico. *Procedimientos de investigación de transporte*, 44, 248-254.

Artés, D. (18 de 01 de 2020). Técnica 4x4: chasis de largueros vs chasis monocasco, ventajas e inconvenientes.

Cromer, G., Cromer, O., Foster, C., & Purdy, K. (29 de 10 de 2020). Automovil.

El Universo. (01 de 11 de 2019). Carros de siete marcas se ensamblan en Ecuador; los autos son los que más demanda tienen.

GARCÍA, G. (01 de 07 de 2020). <https://www.hibridosyelectricos.com/>. Recuperado el 16 de 03 de 2021, de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/lucid-air-aerodinamica-coches-electricos/20200701112911036284.html>

Gonzales, P. (2018). *El ensamblaje en el Ecuador pierde atractivo y reduce su producción*. Quito: El comercio.

Marcos, D. (11 de 12 de 2019). *Autocasión*. Obtenido de Autocasión.com

Senplades. (2017). *Plan Nacional Para el buen vivir*. Quito.

Carrillo , D. (2009). *Diagnóstico del sector automotriz*. Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Energiza. (06 de 2011). *Energiza.org*. Obtenido de Energiza: [www.energiza.org](http://www.energiza.org)

Marcos, D. (11 de 12 de 2019). *Autocasión*. Obtenido de Autocasión.com

Otero. (21 de 11 de 2013). *motorpasion*. Obtenido de motorpasion: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/yamaha-motiv-murray-t27>

PwC. (2020). *El sector automotriz hacia el escenario del futuro*. Quito: PwC.

Tarditti, R. (01 de 08 de 2020). *lanacion.com.ar*. Obtenido de [www.lanacion.com.ar/autos/al-volante/el-diseño-de-los-vehiculos-electricos-nid2156563/%3foutputType=amp](http://www.lanacion.com.ar/autos/al-volante/el-diseño-de-los-vehiculos-electricos-nid2156563/%3foutputType=amp)

Traverso , M. (29 de 05 de 2012). *Car body desing*. Obtenido de [carbodiesing.com](http://carbodiesing.com)

Gordon Murray Design. (2020). *gordonmurraydesign*. Obtenido de [gordonmurraydesign](http://gordonmurraydesign.com): <https://www.gordonmurraydesign.com/en/products/current/motiv.html>

Yumkella, K., & Bryden, A. (2010). *Organismos Nacionales de Normalización en Países en Desarrollo*. Ginebra: ISO.

Medina, G., Chicaiza, E., Vicente, S., Ramírez, F., Furlán, L., & Castillo, P. (2014). *NORMA DE NORMAS. PRINCIPIOS DE NORMALIZACIÓN*. Quito: INEN.

### **Tesis o proyectos de titulación**

Cabrera, V., & Marquéz, P. (2014). *Diseño y construcción de un chasis tubular para un vehículo tipo supercrosscar*. Cuenca.

Cunalata, W., Terán, J., Santillán, E., & Bonilla William. (2010). Diseño y construcción de un bastidor y carrocería, de un vehículo eléctrico biplaza plegable. 1.

Díaz Villagómez, L., & Tufiño Molina, O. (2016). *Estudio de factibilidad técnica para la manufacturación de capots en el Ecuador*. Quito.

Rodríguez Vilches, R. (2017). *Simulación de un proceso de fabricación*. Navarra.

Vangi, D., Begani, F., Gulino, i.-S., & Spitzhüttl, F. (2018). Un modelo de vehículo para la simulación de situaciones de choque. *IFAC-PapersOnLine*, 51(2), 837-842.

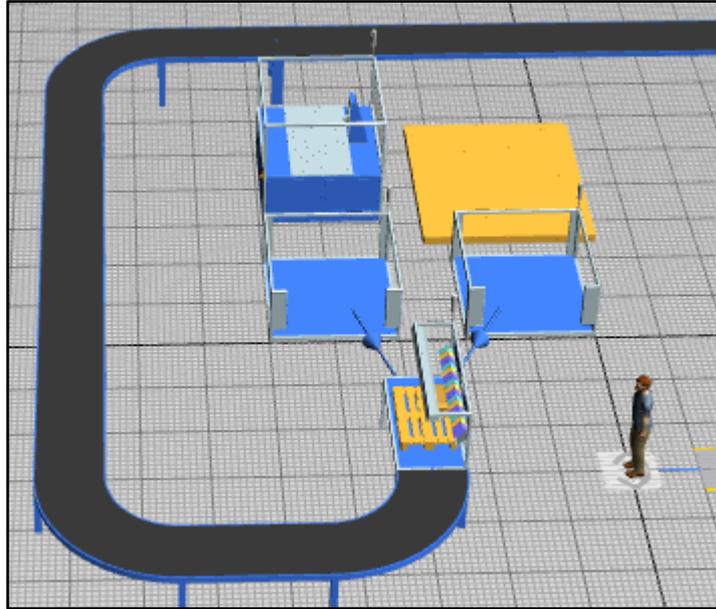
Dumitriu, M., & Stănică, D. (2019). Análisis de vibraciones de flexión vertical de la carrocería del vehículo ferroviario. *Ciencia e ingeniería de materiales*, 564.

## **ANEXOS**



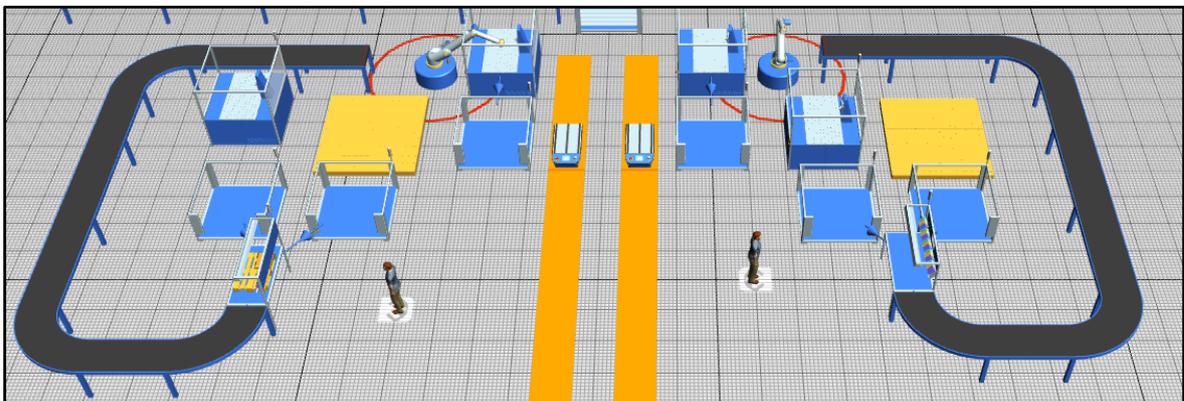
### ANEXO III

#### ESTACIÓN DE DESARROLLO DEL MAIN FRAME



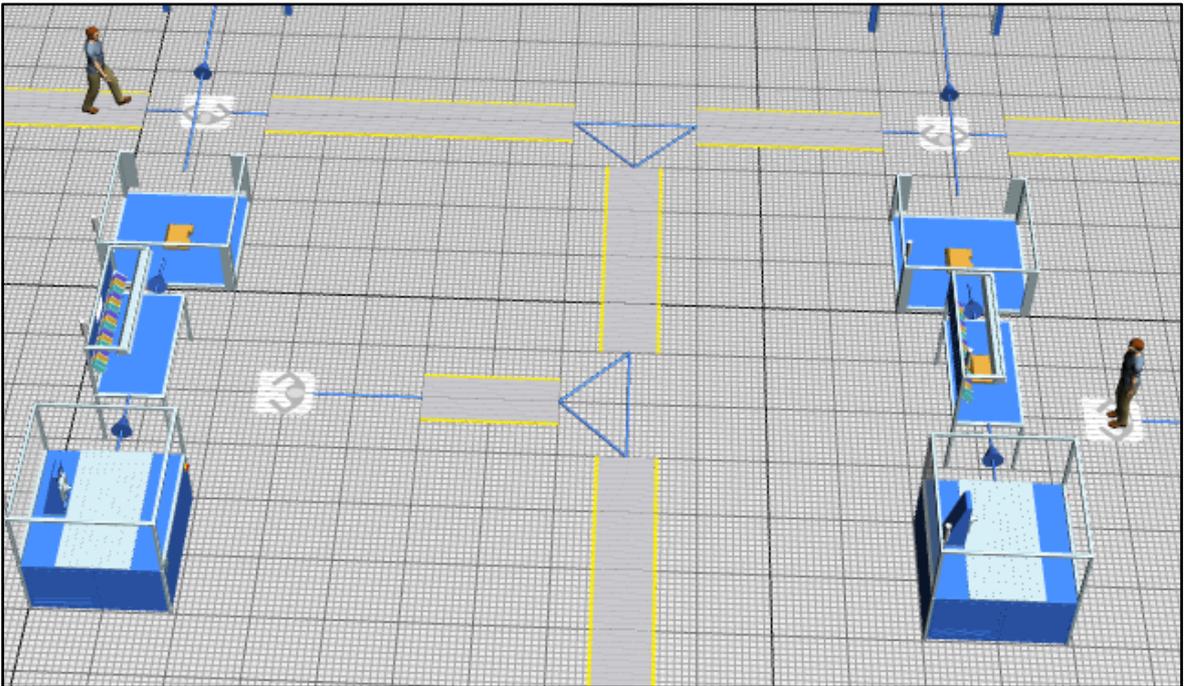
### ANEXO IV

#### ESTACIÓN DE DESARROLLO DEL FRONTAL/REAR FRAME



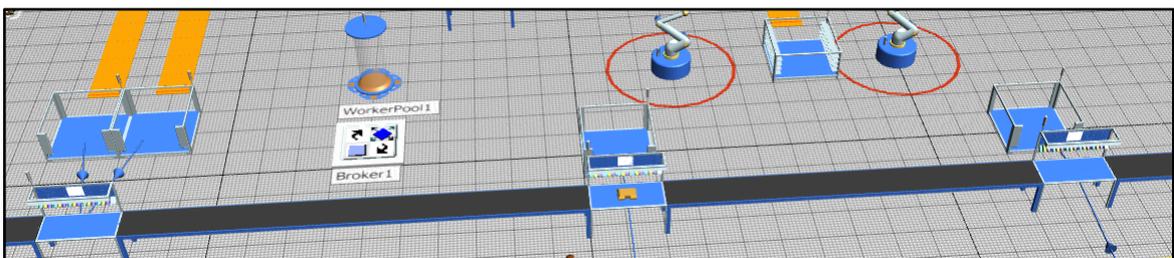
## ANEXO V

### ESTACION DE DESARROLLO PARA LOS ROOF RAILS Y LAS TORRES DE SUSPENSION



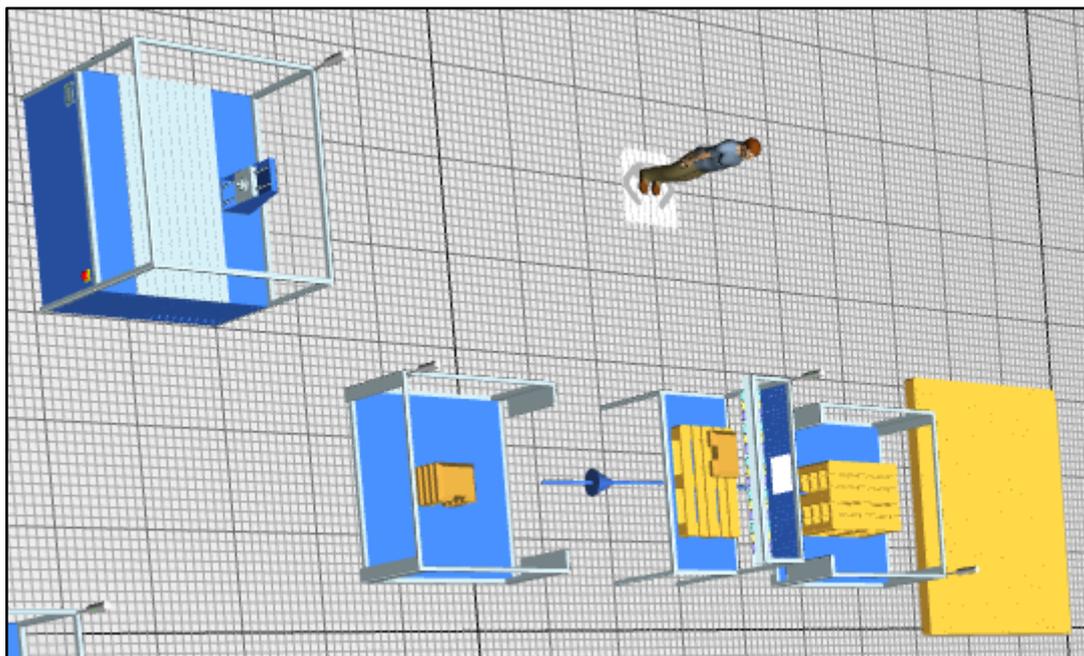
## ANEXO VI

### LÍNEA DE ENSAMBLADO CON TRES ESTACIONES



## ANEXO VII

### SIMULADOR DE PROVEDORES DE PRIMER NIVEL PARA COMPONENTES DE CFRP



## ANEXO VIII

### PANEL DE CONTROL DE LAS 10 ESTACIONES

