

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS
VALPARAÍSO – CHILE



INTEGRACIÓN DE SENSORES EN UN AUTO ELÉCTRICO, PRIMER PASO EN EL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO.

ANDRÉS DEL PINO QUEZADA
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE PRODUCTOS
PROFESOR GUÍA: DR. PABLO PRIETO CABRERA
ABRIL 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor Pablo Prieto por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de título y también de ganar experiencia en lo profesional y personal.

A don Jorge Maggiolo por su ayuda y gran paciencia cuando tuve que fabricar prototipos.

A todas las personas que me brindaron su ayuda, apoyo, ánimo, cariño y amistad en este proceso llamado taller de título.

A mi Familia por estar ahí apoyándome siempre.

DEDICATORIA

Dedicado a mi Padre y a mi madre, por sacrificarse día a día con el fin de darme la oportunidad de tener una educación universitaria. Por estar ahí siempre que lo he necesitado. Por enseñarme que los logros se cimentan en el esfuerzo y la dedicación.

Hoy les devuelvo solo un poco de todo lo que me han dado, esta memoria es para ustedes.

RESUMEN EJECUTIVO

Dentro de la Universidad Técnica Federico Santa María, el centro de investigación Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering (AC3E) se está desarrollando un proyecto de implementación de sensores en un vehículo comercial, para crear una plataforma que sirva de base para futuras investigaciones en el área de la movilidad autónoma, evaluar nuevos desarrollos tanto de software como hardware para vehículos autónomos y así aportar con nuevo conocimiento que ayude a acelerar la futura implementación de esta tecnología.

La presente memoria describe el trabajo realizado en el AC3E, cuyo objetivo principal era diseñar y desarrollar componentes de integración de sensores LIDAR (Velodyne VLP-16) y GPS (Navcom LAND-PAK) en un automóvil eléctrico comercial. Los objetivos específicos de este proyecto fueron:

- Generar un módulo en el cual se integran los sensores LIDAR y GPS al automóvil
- Minimizar el impacto visual que tengan los sensores sobre el automóvil.
- Obtener operatividad óptima de los sensores una vez montados.
- Canalizar los cables y controladores de los sensores a la parte trasera del automóvil.

Como vehículo de pruebas se utilizó un Renault Twizy, vehículo eléctrico de una o dos plazas que ofrece la facilidad de ser recargado en cualquier enchufe doméstico de 220 V y 10. A este se le intervino el techo para integrar 2 soportes necesarios, uno para cada sensor. El trabajo

realizado parte con los diseños conceptuales desde el papel, pasando por los modelos 3D hasta su fabricación e implementación.

Para la fabricación de prototipos se utilizó el proceso de manufactura aditiva, técnica de fabricación de objetos tridimensionales a partir de un modelo digital, más conocida como impresión 3D.

El soporte del GPS se llama Modelo G6 y consiste en una vara inclinada a 60° de la horizontal y dividido en 3 piezas; una base, una vara y una conexión para el GPS. Los cables pasan por el interior de la vara y saliendo por un agujero a solo 35 mm del GPS. El anclaje de este modelo al techo es mediante 4 pernos Parker M5. La base del modelo G6 se posiciona en el centro del techo a 23 cm de su parte posterior.

El soporte del sensor LIDAR, llamado Modelo L3, se basó en un soporte para cámara ya existente de modelo Soligor WT-3230. Este soporte mantiene al LIDAR firme en su lugar evitando que reciba vibraciones externas, pero también dando la posibilidad de posicionarlo en distintos ángulos cuando sea necesario.

ABSTRACT

At the Federico Santa María Technical University, the Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering (AC3E) research center is developing a project to implement sensors in a commercial vehicle, to create a platform that will serve as a basis for future research in the field. Autonomous mobility area, evaluate new developments of both software and hardware for autonomous vehicles and thus contribute with new knowledge to help accelerate the future implementation of this technology.

This paper describes the work done in the AC3E, whose main objective was to design and develop components for the integration of LIDAR (Velodyne VLP-16) and GPS (Navcom LAND-PAK) sensors into a commercial electric car. The specific objectives of this project were:

- Generate a module in which the LIDAR and GPS sensors are integrated into the car
- Minimize the visual impact of sensors on the car.
- Obtain optimum operability of the sensors once assembled.
- Route sensor cables and controllers to the back of the car.

As a testing vehicle, a Renault Twizy was used, one or two-seater electric vehicle that offers the facility of being recharged in any 220 V and 10 household socket. This was the ceiling to integrate 2 necessary supports, one for each sensor. The work is done with conceptual designs from paper, through 3D models to their manufacture and implementation.

For the manufacture of prototypes was used the process of additive manufacturing, technique of manufacturing three-dimensional objects from a digital model, better known as 3D printing.

The support of the GPS is called Model G6 and consists of a rod inclined to 60 ° of the horizontal and divided in 3 pieces; A base, a pole and a connection for the GPS. The cables pass through the inside of the pole and out through a hole only 35 mm from the GPS. The anchorage of this model to the roof is by means of 4 Parker M5 bolts. The base of the G6 model is positioned in the center of the ceiling at 23 cm from the rear.

The LIDAR sensor holder, called Model L3, was based on an existing Soligor WT-3230 camera mount. This support keeps the LIDAR firmly in place avoiding that it receives external vibrations, but also giving the possibility to position it in different angles when necessary.

GLOSARIO

- **AC3E:** sigla para “Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering”. Es un centro de investigación en las áreas de Eléctrica y Electrónica, perteneciente a la Universidad técnica Federico Santa María.

- **GPS:** sigla para “Global Positioning System”. Es un sistema que permite determinar la posición de un objeto en el planeta Tierra con una precisión de hasta centímetros.

- **LIDAR:** sigla para “Laser Imaging Detection and Ranging”. Es un sensor laser que permite obtener una nube de puntos del terreno circundante a él para generar una imagen 3D de su entorno.

- **Inventor:** Software de modelado en 3D desarrollado por la empresa Adobe.

- **Rhinoceros:** Software de modelado en 3D desarrollado por la empresa Robert McNeel & Associates. También su nombre es abreviado como Rhino.

- **Manufactura aditiva:** método de manufactura de objetos creados mediante la superposición de capas sucesivas de material, a diferencia del mecanizado tradicional que sustrae material. Es comúnmente conocida como impresión 3D.

- **ABS:** sigla para “acrilonitrilo butadieno estireno”. Es un material plástico derivado de

combustibles fósiles. Es utilizado para fabricar objetos mediante manufactura aditiva.

- **PLA:** sigla para “Polylactic acid”. Es un material plástico biodegradable y respetuoso con el medio ambiente derivado del almidón de maíz. Es utilizado para fabricar objetos mediante manufactura aditiva.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN EJECUTIVO.....	4
ABSTRACT	6
GLOSARIO.....	8
ÍNDICE GENERAL	10
INTRODUCCIÓN.....	13
UNIDAD 01 CONTEXTUALIZACIÓN	16
Capítulo 01 Resumen.....	17
1.1 Contexto.....	18
1.1.1 AC3E.....	18
1.1.2 Vehículos Eléctricos.....	18
1.1.3 Vehículos autónomos.....	19
1.1.4 Proyecto.....	19
Capítulo 02 El Automovil eléctrico	21
2.1 El auto Eléctrico.....	22
2.1.1 Historia del auto eléctrico.....	22
2.1.2 Componentes del auto eléctrico...23	
2.1.3 Modo de recarga.....	24
2.1.4 Tipos de recarga.....	25
2.2 Auto eléctrico vs tradicional.....	25
2.2.1 Ventajas del auto eléctrico.....	26
2.2.2 Desventajas del auto eléctrico.....	27
2.2.3 Autos eléctricos en el mercado....28	
2.3 Futuro del Vehículo eléctrico.....	30

Capítulo 03 El Vehículo Autónomo	31
3.1 Vehículo autónomo.....	32
3.1.1 Componentes del vehículo autónomo.....	32
3.2 Comparación entre vehículo autónomo y tradicional.....	33
3.2.1 Ventajas del Vehículo autónomo.....	33
3.2.2 Inconvenientes del Vehículo autónomo.....	33
3.3 Investigaciones en Vehículos autónomos.....	34
3.3.1 Spirit of Berlin (2007).....	34
3.3.2 Clavileño (2010).....	35
3.3.3 Control de movimiento en Maniobras de Vehículos autónomos (1998).....	36
3.3.4 Un enfoque de modelo predictivo de control de seguimiento de velocidad para vehículos terrestres autónomos (2015).....	36
3.3.5 artografía a gran escala en escenarios de terrenos complejos utilizando un vehículo autónomo (2015).....	37
3.3.6 Controladores multivariables para un vehículo autónomo terrestre (2014).....	38
3.3.7 Delegar o no delegar (2016).....	38
3.3.8 Diseño de hardware personalizable de controladores Difusos (2015).....	39
3.3.9 Sistema de navegación autónoma de un vehículo usando visión robótica y control difuso en LabVIEW (2011).....	39
3.3.10 PRT MIRAMON.....	39
3.4 Conclusiones.....	40
Unidad 02 TECNOLOGÍA A UTILIZAR	41
Capítulo 04 Renault Twizy	42
4.1 Twizy.....	43
4.1.1 Dimensiones.....	43

4.1.2 Especificaciones.....	43
4.1.3 Versiones.....	44
4.1.4 Motor.....	44
4.1.5 Batería.....	44
4.1.6 Autonomía y consumo.....	45
4.2 Usos y modificaciones del Twizy.....	45
4.2.1 Toro, el Twizy Off-Road.....	45
4.2.2 Twizy RS F1.....	46
4.2.3 Twizy ambulancia.....	46
4.2.4 Twizy vehículo de Bomberos.....	46
4.2.5 Twizy policial.....	47
4.2.6 PRT MIRAMON.....	47
Capítulo 05 Hardware a Integrar.....	48
5.1 Velodyne VLP-16 Real-Time 3D.....	49
5.2 LAND-PAK GPS de Navcom ..	49
Unidad 03 DESARROLLO DE PROPUESTA	51
Capítulo 06 Generación de Ideas	52
6.1 Encargo.....	53
6.1.1 Requerimientos de diseño.....	53
6.2 Antes del desarrollo de propuestas	53
6.2.1 Toma de medidas y modelados 3D	54
6.2.2 Replicado del techo.....	55
6.2.3 Montado del nuevo techo.....	56
6.3 Desarrollo de soporte para GPS	57
6.3.1 Modelo G1.....	57
6.3.2 Modelo G2.....	58
6.3.3 Modelo G3.....	59
6.3.4 Modelo G4.....	60
6.3.5 Modelo G5.....	60
6.3.6 Modelo G6.....	61
6.4 Desarrollo del soporte para LIDAR	62
6.4.1 Modelo L1.....	62

6.4.2 Modelo L2.....	63
6.4.3 Modelo L3.....	64
6.5 Apoyos internos.....	65
6.5.1 Apoyo G5.....	65
6.5.2 Apoyo G6.....	65
6.5.3 Apoyo L1.....	66
6.5.4 Apoyo L2.....	66
6.5.5 Apoyo L3.....	66
Capítulo 07 Proceso de Fabricación	68
7.1 Fabricación por adición de material	69
7.1.1 Modelado por deposición fundida	69
7.1.2 PLA y ABS.....	70
7.2 Impresoras 3D Utilizadas.....	70
7.2.1 Ultimaker 2.....	71
7.2.2 uPrint SE.....	71
7.3 Para comenzar el prototipado.....	72
7.3.1 Trabajando con la Ultimaker 2.....	72
7.3.2 Trabajando con la uPrint SE.....	74
7.3.2 Terminaciones.....	76
Capítulo 08 Prototipos y Modelos Finales	77
8.1 Prototipado del soporte para GPS	78
8.1.1 Modelo G5.....	78
8.1.2 Modelo G6.....	79
8.1.3 Modelo G6 Pieza Final.....	80
8.2 Prototipado del soporte para sensor LIDAR.....	81
8.2.1 Modelo L2.....	81
8.2.1 soporte del Modelo L3.....	82
8.2.1 Modelo L3 Pieza Final.....	83
8.3 Apoyos internos.....	84
8.3.1 Apoyos G5 y G6.....	84
8.3.2 Apoyos L1, L2 y L3.....	85
8.3 Montado de los sensores.....	85

8.3.1 Proceso de montado del LIDAR	85
8.3.2 Proceso de montado del GPS.....	88
8.3.3 Sensores montados.....	89
Unidad 04 FINALIZACIÓN DEL TRABAJO	91
Capítulo 09 Proyecciones.....	92
9.1 Posibles modificaciones.....	93
9.1.1 Modelo G6.....	93
9.1.2 Modelo L3.....	94
9.1.3 Apoyo L3.....	94
9.2 Trabajo futuro en el proyecto.....	95
9.2.1 Rack contenedor de componentes	95
9.2.2 Actuación de pedales y dirección	95
9.3 Proyección de negocios.....	95
Capítulo 10 Conclusiones.....	96
10.1 Conclusiones.....	97
Trabajos citados.....	99
ANEXO 1.....	103

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual existe un medio de transporte, sin el cual es difícil imaginarse el día a día de las personas al rededor del mundo, este es el automóvil. Gracias a ellos el trasladarse grandes distancias o transportar cargas es mucho más fácil y rápido, lo que ha hecho de este medio de transporte el más importante durante más de 100 años.

En el último tiempo la cantidad de autos que circulan por las calles ha aumentado, trayendo consigo un creciente caos de tráfico. Además la dependencia casi total de los productos petrolíferos del transporte por carretera sigue aumentando las emisiones totales de CO2 en el planeta. Esto hace necesario que se masifiquen e incorporen medios de transportes más eficientes y limpios a las calle de todo el mundo. Así es como las nuevas tecnologías de propulsión alternativas comienzan a ganar terreno en el mercado, como la energía eléctrica.

La tecnología de vehículos eléctricos ha avanzado significativamente, siendo un método de propulsión con mayor eficiencia energética y que contribuye a la reducción de los contaminantes arrojados a la atmosfera. La revolución eléctrica en las calles llegará en un futuro cercano (Pizarro, Revista Capital, 2016).

Además de las tecnologías alternativas de propulsión, también están apareciendo nuevas formas de conducción de un automóvil. Un avance que en pocos años más seguramente este rodando por la calle del mundo es la implementación de vehículos autónomos. Estos son automóviles que se mueven sin necesidad de

un conductor, porque tienen tecnología incorporada que les permite imitar la capacidad humana de manejo y control. Tan simple como subirse al automóvil, programar el destino y esperar a que el mismo vehículo lleve a sus ocupantes a destino.

Estos vehículos son dirigidos por GPS, para saber la ubicación y la ruta a seguir, además tener sistemas de radar, laser y cámaras para evitar obstáculos del entorno.

En Chile el centro de investigación AC3E, destacado por su trabajo de excelencia en investigación, estudios de postgrado y trabajos de innovación con empresas, está trabajando en un proyecto de automatización de un auto eléctrico comercial, para poder implementar un módulo de sensores replicables para poder incorporar en otros vehículos de investigación. Así se crea una plataforma que sirve de base para futuras investigaciones en el área de la movilidad autónoma.

La presente memoria describe el trabajo realizado en la primera etapa de este proyecto de automatización de un automóvil, desarrollado por el AC3E. Se divide en 4 Unidades donde primeramente se hace una contextualización de movilidad eléctrica, desarrollo de vehículos autónomos y del proyecto en sí. Luego se explican las Tecnologías a utilizar, siendo estas el vehículo eléctrico Renault Twizy, un sensor LIDAR para escanear los alrededores del auto y un GPS para saber su ubicación exacta. También se explicará el desarrollo de las propuestas de soportes para integrar los sensores al automóvil y

finalmente se harán proyecciones y conclusiones de todo el proceso realizado.

Las 4 unidades están divididas en un total de 10 capítulos, de los cuales a continuación se presenta sus contenidos:

- Capítulo 1, Resumen: Se presentan los elementos clave para el desarrollo del proyecto como el centro de investigación AC3E, el auto eléctrico, el vehículo autónomo y el proyecto que piensa desarrollar el AC3E.

- Capítulo 2, Automóvil Eléctrico: Recopilación de información sobre el automóvil eléctrico como historia, funcionamiento, partes y piezas relevantes y vehículos eléctricos que ofrece el mercado.

- Capítulo 3, Vehículo autónomo: Qué es, cuáles son sus partes y cómo funciona un vehículo autónomo, además de recopilar información de investigaciones realizadas en el área de movilidad autónoma.

- Capítulo 4, Renault Twizy: Recopilación de información técnica sobre el automóvil a intervenir, el Renault Twizy.

- Capítulo 5, Hardware a integrar: Recopilación de información técnica sobre los sensores LIDAR y GPS a integrar en el vehículo de pruebas.

- Capítulo 6, Generación de ideas: Definición del encargo y los requerimientos de diseño, Además de la evolución de los modelos y prototipos.

- Capítulo 7, Proceso de fabricación: Registro de todo el trabajo realizado en la fabricación de prototipos, usando la tecnología de manufactura aditiva o impresión 3D.

- Capítulo 8, Prototipos y modelos finales: Resultado y análisis de cada prototipo realizado.
- Capítulo: 9, Proyecciones: Registro de las posibles modificaciones a los prototipos presentados, además del trabajo a realizarse a futuro en el proyecto de automatización del AC3E.
- Capítulo 10, Conclusiones: Conclusiones del trabajo realizado.

UNIDAD 01
CONTEXTUALIZACIÓN

*Movilidad eléctrica y desarrollo de vehículos
Autónomos.*

Capítulo 01
CONTEXTO

Elementos clave para el desarrollo del proyecto

1.1 Contexto

El presente proyecto se ha desarrollado como parte de las actividades del “Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering” o AC3E, en su área de desarrollo de vehículos autónomos. Esta línea de investigación ha estado trabajando desde el año 2015.

1.1.1 AC3E (“Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering”)

El AC3E es un centro de investigación en las áreas de Eléctrica y Electrónica, compuesto por un grupo profesores, investigadores y estudiantes de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se destaca por su trabajo de excelencia en investigación, estudios de postgrado y trabajos de innovación con empresas. Su logo se puede ver en la imagen 1.



Imagen 1: Logo del centro AC3E. Recuperado de: www.ac3e.cl

Sus líneas de investigación son Control y Automatización, Energías Renovables y Conversión de Potencia, Robótica, Sistemas

Biomédicos, Sistemas Eléctricos, Procesamiento de Señales y Comunicaciones.

Según la página web www.ac3e.cl: El Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, AC3E, nace el año 2014 con la adjudicación del Tercer Concurso Nacional de Financiamiento Basal del Programa de Investigación Asociativa, PIA, de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Conicyt.

El AC3E está compuesto por un grupo multi e interdisciplinario de investigadores que busca aumentar la competitividad de la economía Chilena a través de la innovación científica y tecnológica.

El desarrollo de esta memoria corresponde a una colaboración con un proyecto relacionado con la movilidad autónoma de vehículos comerciales, llevado a cabo por el AC3E.

1.1.2 Vehículos Eléctricos

Un vehículo eléctrico de batería es un vehículo de propulsión alternativa impulsado por un motor eléctrico, alimentado por baterías. Estas almacenan energía eléctrica que es suministrada de manera externa en una fase de carga (Clement-Nyns, Haesen, & Driesen, 2010). Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. El elemento conductor que tienen en su interior tiende a moverse cuando está dentro de un campo magnético y recibe

corriente eléctrica (Enel S.A.). Un ejemplo de automóvil eléctrico se puede ver en la imagen 2.

Debido a la menor complejidad mecánica que presentan los autos eléctricos es que para el proyecto de automatización desarrollado en el AC3E se decidió dejar de lado la gasolina y utilizar un vehículo eléctrico.



Imagen 2: Tesla Model S, ejemplo de auto eléctrico. Recuperado de: <https://www.extremetech.com>

1.1.3 Vehículos autónomos

Un vehículo autónomo es un automóvil que se mueve sin necesidad de un conductor, ya que gracias a la acción de distintos sensores y tecnologías incorporadas, puede imitar la capacidad humana de manejo y control. Estos no necesitan ningún tipo de asistencia por parte de un conductor, solo saber el destino al cual debe dirigirse. Una representación de viaje en vehículo autónomo se puede ver en la imagen 3.

Estos vehículos son dirigidos por un sistema de navegación global, o GPS, para saber la ubicación y la ruta a seguir. Los obstáculos del entorno son percibidos por sistemas de radar y laser, mientras que las señalizaciones del tránsito son percibidas por sistemas de visión computarizada o cámaras (Berlin, 2007).



Imagen 3: Representación de un viaje en un vehículo autónomo. Recuperado de: www.cochesinconductor.com

1.1.4 Proyecto: Automatización de un automóvil comercial en el país

El desafío de este proyecto del AC3E es generar la automatización de un auto eléctrico comercial (Concretamente un Renault Twizy), para poder implementar un módulo de sensores aplicable a un vehículo de investigación, que pueda ser replicado n veces. De esta manera se puede crear una plataforma que sirva de base para futuras investigaciones en el área de la movilidad autónoma y aportar con nuevo conocimiento que

ayude a acelerar la futura implementación de vehículos.

La presente memoria describe el trabajo realizado en la primera etapa de este proyecto. El objetivo principal es diseñar y desarrollar componentes de integración de sensores LIDAR y GPS en un automóvil eléctrico comercial. Los objetivos específicos de este proyecto fueron:

- Generar un módulo en el cual se integran los sensores LIDAR y GPS al automóvil
- Minimizar el impacto visual que tengan los sensores sobre el automóvil.
- Obtener operatividad óptima de los sensores una vez montados.
- Canalizar los cables y controladores de los sensores a la parte trasera del automóvil.

El sector intervenido fue el techo del vehículo.

Capítulo 02
EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

Su aparición y evolución

2.1 El auto Eléctrico

Un vehículo eléctrico es un medio de transporte propulsado en un 100% por energía eléctrica, la cual puede ser administrada de forma externa o interna. Los primeros necesitan cables externos que administren constantemente la energía eléctrica al vehículo tal como los trolebuses o trenes. Los vehículos eléctricos alimentados de manera interna tienen un sistema integrado que les proporciona energía eléctrica, como una celda de combustible (obtiene electricidad de una reacción química) o almacenando la energía en baterías (Clement-Nyns, Haesen, & Driesen, 2010). Estos últimos son los más desarrollados y en los que se centrará este documento.

2.1.1 Historia del auto eléctrico

Según la página web www.endesaeduca.com:

“El coche eléctrico fue uno de los primeros automóviles que se desarrollaron. De hecho, existieron vehículos eléctricos anteriores al motor de cuatro tiempos sobre el que Diesel (motor diesel) y Benz (gasolina) basaron el automóvil de combustión.

Entre 1832 y 1839, el hombre de negocios escocés Robert Anderson inventó el primer vehículo eléctrico puro. El profesor Sibrandus Stratingh de Groninga, en los Países Bajos, diseñó y construyó con la ayuda de su asistente Christopher Becker vehículos eléctricos a escala reducida en 1835.”

Justo antes de 1900, los automóviles eléctricos realizaron registros de velocidad y distancia notables, entre los que destaca la ruptura de la barrera de los 100 km/h por Camille Jenatzy el 29 de abril de 1899 (105,88 km/h), ver imagen 4. En 1906 la marca suiza Tribelhornlanza lanzó buses de turismo con autonomía de 60 a 100 km y una velocidad de 25 km/h (Enel S.A.).

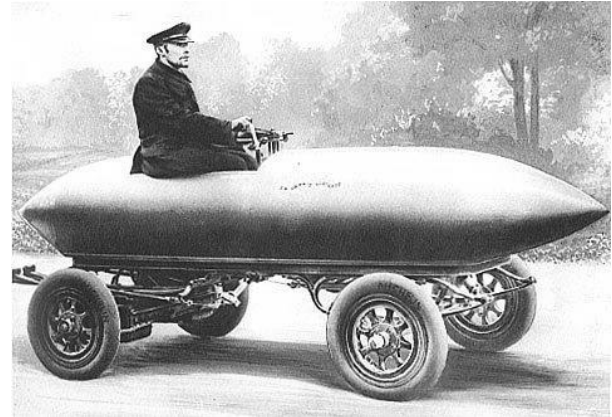


Imagen 4: Camille Jenatzy en un coche eléctrico La Jamais Contente, 1899. Recuperado de: upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Jamais_contente.jpg

Los automóviles eléctricos, producidos en los Estados Unidos por Anthony Electric, Baker, Detroit, Edison, Studebaker, y otros durante los principios del siglo XX tuvieron relativo éxito comercial. Debido a las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima de estos primeros vehículos eléctricos se limitaba a unos 32 km/h, por eso fueron vendidos como coche para la clase alta y con frecuencia se comercializaban como

vehículos adecuados para las mujeres debido a conducción limpia, tranquila y de fácil manejo, especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que si necesitaban los automóviles de gasolina de la época. Ver imagen 5.



Imagen 5: Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913. Recuperado de: commons.wikimedia.org/wiki/File:EdisonElectricCar_1913.jpg

La introducción del arranque eléctrico del Cadillac en 1913 simplificó la tarea de arrancar el motor de combustión interna, que antes de esta mejora resultaba difícil y a veces peligroso. Esta innovación, junto con el sistema de producción en cadenas de montaje de forma masiva y relativamente barata implantado por Ford desde 1908 contribuyó a la caída del vehículo eléctrico. Además, las mejoras se sucedieron a mayor

velocidad en los vehículos de combustión interna que en los vehículos eléctricos.

A finales de 1920 la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, quedando relegada a algunas aplicaciones industriales muy concretas, como montacargas (introducidos en 1923 por Yale), toros elevadores de batería eléctrica, o carros de golf eléctricos, con los primeros modelos de Lektra en 1954.

En 1996 el coche eléctrico volvió a surgir de nuevo, empezando así una goteo continuo de lanzamientos de nuevos coches eléctricos por las marcas de automóviles más importantes (Clement-Nyns, Haesen, & Driesen, 2010).

2.1.2 Componentes del auto eléctrico

Según Endesa educa (Enel S.A.) los componentes básicos de un auto eléctrico son:

- **Cargador:** El cargador o transformador convertidor es aquel elemento que absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua, para así poder cargar la batería principal.
- **Batería:** Las baterías de Litio-ion almacenan la energía que le cede el cargador en forma de corriente continua (DC). Esta batería principal es el medio por el que se alimenta todo el coche eléctrico. En los coches que tienen un motor eléctrico de corriente continua, esta

batería iría directamente conectada al motor. En cambio, en los coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna, la batería va conectada a un inversor.

- **Conversor:** El conversor transforma la alta tensión de corriente continua, que aporta la batería principal, en baja tensión de corriente continua. Este tipo de corriente es el que se utiliza para alimentar las baterías auxiliares de 12 V, que son las que alimentan los componentes auxiliares eléctricos del coche.
- **Inversores:** Los inversores o onduladores son los encargados de transformar la corriente continua que cede la batería principal, en corriente alterna. De esa manera se puede alimentar el motor en corriente alterna del coche eléctrico.
- **Motor eléctrico:** El motor de un coche eléctrico puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. La diferencia entre estos los dos tipos, principalmente, es la forma de alimentación. El de corriente continua se alimenta directamente desde la batería principal, y el de corriente alterna se alimenta a través de la energía que emite la batería previamente transformada en corriente alterna a través del inversor.

Ver imagen 6 para comprender mejor el funcionamiento del auto eléctrico.

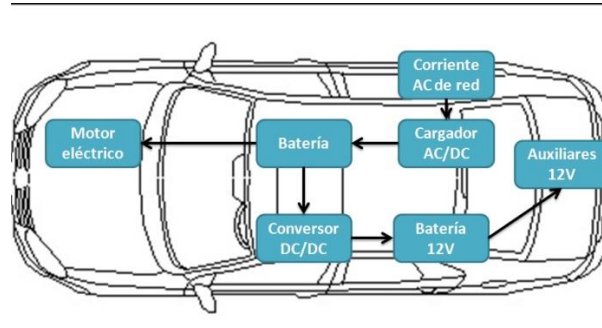


Imagen 6: Esquema general sobre los componentes de un vehículo eléctrico con motor en corriente alterna (AC). Recuperado de: www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico

2.1.3 Modo de recarga

El modo en que estos automóviles se recargan es muy similar a la recarga de un celular. Solo se enchufan a una toma de electricidad. En algunos casos se conectan directo a los enchufes tradicionales que se pueden encontrar en la casa, en otras se necesita una instalación especializada. El proceso de carga toma horas en realizarse. La principal ventaja de los coches eléctricos es recargarlos de noche, cuando las tarifas son bajas y la demanda energética es muy baja, para aprovechar mejor la potencia instalada de un país.

Durante el proceso de carga, las baterías se mantienen a una temperatura controlada mediante ventiladores. El tiempo depende del

voltaje y amperaje, una toma doméstica no puede admitir recarga rápida (COSTAS, 2010).

2.1.4 Tipos de recarga del auto eléctrico

Según Endesa educa (Enel S.A.) Existen 3 formas de recarga:

- 1) **Recarga convencional:** La carga convencional emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel que la propia vivienda (16 A y 230 V). Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 3,7 kW. Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda unas 8 horas aproximadamente. Esta modalidad es usada para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje. Recargar el coche eléctrico durante el período nocturno es más eficaz energéticamente, ya que es cuando menos demanda energética existe.
- 2) **Recarga semi-rápida:** La carga semi-rápida emplea 32 A de intensidad y 230 V de voltaje eléctrico. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 7,3 kW. Esta solución es usada para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje, al igual que la opción anterior.
- 3) **Recarga rápida:** La carga rápida emplea una mayor intensidad eléctrica y, además,

entrega la energía **en corriente continua**, obteniéndose una potencia de salida del orden de 50kW.

Esta solución es la que, desde el punto de vista del cliente, se asemeja a sus hábitos actuales de recarga de gasolina con un vehículo de combustión. Aun así, la recarga rápida debe ser concebida como extensión de autonomía o cargas de conveniencia.

Las exigencias a nivel eléctrico son mayores que en la recarga convencional. Por poner una referencia, la potencia requerida para este tipo de instalaciones es comparable a la de un edificio de 15 viviendas. Así, la recarga rápida puede implicar la adecuación de la red eléctrica existente.

2.2 Comparación entre el auto eléctrico y el auto tradicional

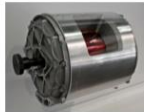
A pesar de que el vehículo eléctrico apareció mucho antes que el motor a combustión interna, los automóviles movidos por combustible fósil han sido los que dominan el mercado prácticamente desde su aparición. Como se mencionó con anterioridad, el automóvil eléctrico está volviendo a competir con el tradicional y por esta razón se deben comparar las ventajas de uno sobre el otro.

2.2.1 Ventajas del auto eléctrico sobre el auto tradicional:

- 1) **Mecánica simple:** El número de piezas móviles se reduce al máximo, por lo que el desgaste prácticamente no existe. Por esto son motores mucho más confiables en los que el cambio de piezas no existe. (COSTAS, 2010). Ver imagen 7.



Cadillac 3.6L V6 Engine
Over 200 moving parts



Tesla AC Induction Motor
About the size of a watermelon

Imagen 7: A la izquierda un motor Cadillac tradicional, a la derecha un motor eléctrico Tesla Motors. Recuperado de: modelscoil.com

- 2) **Gastos de mantención reducidos:** En revisión técnica no se realiza prueba de gases. Las revisiones son más económicas ya que no hay sustituciones de aceites, líquidos, bujías, correas y filtros (Reyes, 2013).
- 3) **Bajo costo de Uso:** El gasto en energía eléctrica es menos que el de gasolina. Por ejemplo en Europa un Nissan LEAF

recorre 100 km con poco más de un euro. En cambio un vehículo diésel, con un consumo promedio, gastaría alrededor de 7.37 euros para recorrer la misma distancia. (Reyes, 2013). Eso convertido a pesos chilenos al 01/03/17 son \$ 687 del eléctrico contra \$5.060 del diésel.

- 4) **Mayor eficiencia:** convierten en movimiento más del 90% de la energía que consumen. No obstante, no se aprovecha toda la energía de la baterías, y se pierde energía por el calor de las mismas, en la transformación de la electricidad, el transporte y por las propias ruedas del vehículo. (COSTAS, 2010). Aun considerando todas las pérdidas, la eficiencia es indiscutiblemente superior a un coche convencional o híbrido. Por ejemplo un motor diésel promedio tiene una eficiencia de 38% (Reyes, 2013).
- 5) **Menos contaminación:** Los vehículos eléctricos no emiten gases contaminantes, ya que no realizan ningún tipo de combustión, y su fabricación suele ser más respetuosa con el medio ambiente (Reyes, 2013).
- 6) **Menor nivel de ruido:** vibraciones casi imperceptibles y casi no emiten ruido. Solo se pueden escuchar los neumáticos rodando contra el piso (Reyes, 2013).
- 7) **Mayor potencia de arranque:** Los motores eléctricos ofrecen su par máximo desde 0 rpm y potencia constante (Reyes, 2013).

2.2.2 Desventajas del auto eléctrico

- 1) **Precio elevado:** Los vehículos 100% eléctricos son al día de hoy excesivamente caros. Los modelos que hay actualmente en el mercado tienen un precio de partida realmente elevado, al que hay que sumarles en muchos casos alquiler de baterías. (Reyes, Automoción, 2013). Un ejemplo de esto es el precio del Renault Fluence que en su versión bencinera cuesta \$ 8.490.000, mientras que su versión ZE o eléctrica cuesta \$ 13.600.000, todo esto según la página www.renault.cl al 19/04/16. Ver imagen 8.



Imagen 8: Arriba el Renault Fluence, abajo el Renault Fluence ZE. Recuperado de: www.renault.cl

- 2) **Tiempos de recarga muy altos:** El tiempo invertido en recargar completamente la batería de un auto eléctrico sigue siendo muy alto. Estos van desde las 3 horas a las 9 horas con recarga convencional, dependiendo del modelo de auto. (Reyes, Automoción, 2013)
Además la recarga rápida no puede ser usada en exceso dado que los fabricantes comentan que se pueden fatigar los materiales. Las cargas obtenidas mediante el sistema de recarga rápida duran menos kilómetros que las que se realizan mediante un punto de recarga tradicional (Reyes, Automoción, 2013).
- 3) **Baja autonomía:** En comparación con los autos convencionales, los eléctricos tienen una autonomía menor. Por lo general tienen entre 100 y 150 km de autonomía con carga completa. Esto sumado a la menor cantidad de puntos de recarga que hacen que la autonomía de los eléctricos sea menor (Reyes, Automoción, 2013).
- 4) **Caro cambio de baterías:** A pesar de la menor posibilidad de averías mecánicas, un componente que se desgasta rápidamente con el paso de los años es la batería. La sustitución de este componente es muy costosa, mucho más que muchas de las averías comunes de los vehículos convencionales (Reyes, Automoción, 2013).

- 5) **Instalación de una toma especial:** Las marcas recomiendan instalar una toma eléctrica especial para el uso continuado de la red eléctrica doméstica, ver imagen 9. Esta instalación, llamada wallbox, es costosa. (Reyes, Automoción, 2013). En Europa estas van desde los 799€ a los 1.725€, según la página www.wallbox.eu. Eso convertido a pesos chilenos al 01/317 son \$ 548.913 y \$1.185.075 respectivamente.



Imagen 9: Estación de recarga doméstica o Wallbox. Recuperado de: www.wallbox.eu

2.2.3 Autos eléctricos en el mercado al 18/04/16

Los principales automóviles eléctricos en el mercado son:

- Tesla Model S: Auto deportivo de alta gama, autonomía 457 Km, velocidad máxima 250 Km/h, precio equivalente chileno \$32.982.183. ver imagen 10.



Imagen 10: Tesla Model S 2017. Recuperado de: www.teslamotors.com.

- Nissan Leaf: El vehículo eléctrico más vendido del mundo, autonomía 172 Km, velocidad máxima 145 Km/h, precio equivalente chileno \$24.633.382. ver imagen 11.



Imagen 11: Nissan Leaf 2017. Recuperado de: www.nissan.es.

- Volkswagen e-up!: Vehículo de 4 plazas, autonomía 160 Km, velocidad máxima 130 Km/h, precio equivalente chileno \$14.915.338. ver imagen 12.



Imagen 12: Volkswagen e-up!. Recuperado de: www.volkswagen.es.

- BMW i3: “Citycar” de 4 plazas, autonomía 130 Km, velocidad máxima 150 Km/h, precio equivalente chileno \$36.280.401. ver imagen 13.



Imagen 13: BMW i3 2016. Recuperado de: www.bmw.com.

- Renault Twizy: Vehículo eléctrico biplaza, autonomía 100 Km, velocidad máxima 80 Km/h, precio equivalente chileno \$5.383.881. ver imagen 14.



Imagen 14: Renault Twizy 2016. Recuperado de: www.renault.cl.

Los precios fueron transformados de moneda extranjera a pesos chilenos actualizados el día 20/04/16.

Para ver la tabla con toda la información de los autos eléctricos en el mercado al 18/04/16, dirigirse al anexo 1.

2.3 Futuro del Vehículo eléctrico

Según un artículo de Valentina Pizarro en la revista Capital:

“Hoy en día, los autos eléctricos son más caros que los tradicionales que funcionan con combustibles fósiles, pero la diferencia es cada vez menor. Según los analistas del Bloomberg New Energy Finance (BNEF), el año 2022 los vehículos eléctricos serán más baratos que los convencionales. Según ellos los costos de las baterías de iones de litio han bajado un 65% desde 2010, alcanzando los US\$ 350 dólares por kWh. Se espera que los costos de las baterías de los vehículos eléctricos estén por debajo de los US\$ 120 por kWh en 2030, y que caigan todavía más conforme avanza la química”.

Teniendo todos estos datos en cuenta, desde el BNEF creen que para el año 2040 el 35% de los vehículos ligeros vendidos serán eléctricos, con un precio que será inferior a los US\$ 22.000 para los vehículos de largo alcance (Pizarro, 2016).

Además grandes marcas de automóviles también han mostrado su interés por aportar en el tema de la energía limpia, por ejemplo Ford invertirá más de US\$ 4.500 millones en la gama de autos eléctricos, donde espera tener 13 nuevos modelos en 2020, un número que supondría que el 40% de su catálogo se alimentase de electricidad (Pizarro, Revista Capital, 2015).

También Volkswagen se suma al desarrollo de vehículos eléctricos. Según el presidente de Consejo de Dirección del grupo Volkswagen, Martin Winterkorn, el grupo de fabricante de automóviles que incluye a Audi y Porsche, fabricará 20 modelos de autos eléctricos de aquí 2020.

Capítulo 03
EL VEHÍCULO AUTÓNOMO

Qué es y cómo funciona

3.1 Vehículo autónomo

Un vehículo autónomo es un automóvil que se mueve sin necesidad de un conductor, ya que gracias a la acción de distintos sensores y tecnologías incorporadas puede imitar la capacidad humana de manejo y control. Estos no necesitan ningún tipo de asistencia por parte de un conductor, solo saber el destino al cual debe ir.

Estos vehículos son dirigidos por un sistema de navegación global, o GPS, para saber la ubicación y la ruta a seguir. Los obstáculos del entorno son percibidos por sistemas de radar y laser, mientras que las señalizaciones del tránsito son percibidas por sistemas de visión computarizada o cámaras (Berlin, 2007).

3.1.1 Componentes del vehículo autónomo

Los componentes más usados para construir un vehículo autónomo, y permitirle moverse sin problemas, son los siguientes:

- 1) **Navegador GPS:** Con un sistema de posicionamiento global es posible determinar la posición del vehículo con una precisión de 1 metro, o menos. Esto junto a bases de datos de mapas globales permiten guiar la ruta del vehículo autónomo (Berlin, 2007).
- 2) **Cámaras:** para guiar de una manera más precisa el andar de los vehículos autónomos es que se utilizan cámaras.

Estas ayudan a detectar marcas de carril en la carretera, además de identificar las señales del tránsito como señaléticas y semáforos (Berlin, 2007).

- 3) **Odómetro:** Sistema para contar la distancia recorrida por el vehículo.
- 4) **Escáner laser LUX:** estos se posicionan delante y detrás del automóvil y funcionan básicamente como sensores de proximidad (Magus). Son utilizados para reconocer obstáculos en la vía (Berlin, 2007).
- 5) **Radars SMS:** Detección de obstáculos y prevención de colisiones de hasta 360 grados. Mide las posiciones y vector velocidad de todos los objetos detectados (Autonomou Stuff). En Un vehículo autónomo el radar SMS se aplica para detectar objetos en un área o volumen alrededor del auto y evitar colisiones (Berlin, 2007).
- 6) **Sensor Lidar:** LIDAR, acrónimo de Light Detection and Ranging, es un método de detección remota que utiliza la luz en forma de un láser pulsado para medir distancias rangos (variables) a la Tierra. Estos pulsos-combinados con otros datos registrados por el sistema- el aire de luz generan información precisa, en tres dimensiones sobre la forma de la Tierra y sus características superficiales (National Ocean Service). En el vehículo autónomo se utiliza para hacer un mapeado 3D del

entorno más próximo al automóvil (Berlin, 2007) .

Un prototipo de vehículo autónomo se puede ver en la imagen 15.

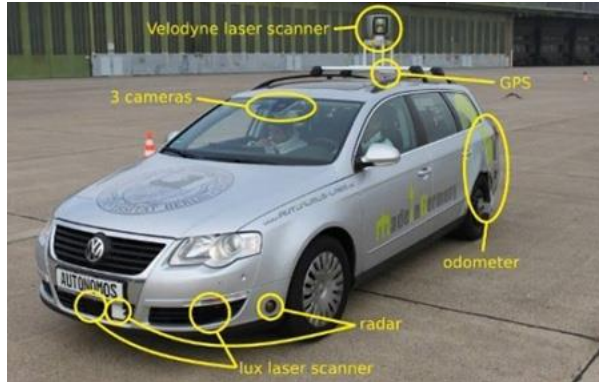


Imagen 15: Prototipo de vehículo autónomo con todos sus componentes. Recuperado de: mundoaftermarket.com.

3.2 Comparación entre el vehículo autónomo y el auto tradicional

Ya que la tecnología avanza tan rápido y ya existen en el mercado los primeros automóviles con tecnología de manejo autónomo, es necesario saber qué ventajas nos trae este avance en comparación con un auto tradicional, en el que es el conductor el que debe dirigir en todo momento el vehículo.

3.2.1 Ventajas del Vehículo autónomo

- 1) **Movimiento autónomo:** como su nombre lo dice estos vehículos pueden moverse sin necesidad de la intervención de un conductor, esto es un gran beneficio para personas con discapacidades que les impidan manejar o simplemente para las personas que no saben conducir un auto (Milanés, Llorca, Vinagre, González, & Sotelo, 2010).
- 2) **Apegado a las leyes:** Estos vehículos están programados para seguir las leyes de tránsito en todo momento y respetar los límites de velocidad, reduciendo el riesgo de provocar accidentes (Berlin, 2007).
- 3) **Eliminan el factor humano:** Estas máquinas no se cansan, no se duermen el volante y no pueden manejar bajo la influencia del alcohol. Además de seguir siempre las reglas del tránsito, hacen que el viaje sea mucho más seguro (Milanés, Llorca, Vinagre, González, & Sotelo, 2010).

3.2.2 Inconvenientes del Vehículo autónomo

- 1) **Dependen excesivamente del GPS:** Si se desea que estos vehículos lleguen a un lugar donde el mapeado de rutas no está en la base de datos, el vehículo no podrá realizar el tramo. Volverá a modo manual y el pasajero tendrá que tomar el

rol de conductor (Milanés, Llorca, Vinagre, González, & Sotelo, 2010).

- 2) **Temor de la gente:** pero el 75% de los conductores en estados unidos dicen que no se sentirían seguros en un vehículo autónomo, a pesar que 60% de los conductores quisiera tener alguna característica autónoma, como frenos automáticos o que se estacionen solos.

Estas respuestas corresponden a un nuevo estudio de la Asociación Americana de Automóviles (AAA) de 1,800 conductores (Isidore, 2016).

- 3) **Legislación:** Al ser todavía una tecnología en desarrollo e investigación, los vehículos autónomos no pueden moverse libremente en las calles. Necesitan de supervisión humana todo el tiempo. Por ejemplo en octubre de 2015, durante el Congreso Mundial de Transporte Inteligente (ITS), varios vehículos autónomos se integrarán en el flujo de tráfico de Burdeos (Francia). Los vehículos Debían tener un registro específico para alertar a los usuarios de su presencia. También un conductor profesional debía estar presente en los vehículos durante las pruebas (Bosredon, 2015). También en Inglaterra el gobierno indicó que no hay barreras legales para probar los vehículos autónomos en calles públicas del país. Sin embargo, aclaró que deberán modificarse normas viales y de control vehicular para permitir que los

vehículos autónomos puedan transitar libremente (Agencias AP y ANSA, 2015).

En Estados Unidos, los estados de California, Nevada y Florida han autorizado el uso de vehículos autónomos en la vía pública (Agencias AP y ANSA, 2015). Sin embargo, la mayoría de los estados de Estados Unidos no cuentan ninguna ley respecto a la conducción autónoma. Los pocos que sí las tienen ajustaron sus leyes para permitir la investigación y las pruebas (Kessler, 2015).

- 4) **No reaccionan ante situaciones extraordinarias:** En el caso de un bloqueo imprevisto en la ruta o que un policía esté dirigiendo el tránsito, los vehículos autónomos no sabrán cómo actuar.

3.3 Investigaciones realizadas en Vehículos autónomos al 18/04/16

En el siguiente apartado se mencionarán algunas de las investigaciones en vehículos autónomos realizadas alrededor del mundo, ya sea por universidades o empresas privadas.

3.3.1 Spirit of Berlin: An Autonomous Car for the DARPA Urban Challenge Hardware and Software Architecture (2007)

Espíritu de Berlín es un vehículo convencional modificado para conducirse de manera autónoma

usando tecnología comercial disponible para los conductores discapacitados. Para la navegación global en toda la zona, el auto se basa en un sistema / IMU GPS que proporciona 1 metro, o menor, de la precisión de posicionamiento. El auto ajusta su comportamiento de conducción utilizando información local: las marcas de carril se detectan utilizando cámaras de vídeo; obstáculos se detectan mediante un escáner láser frontal de largo alcance (150 m), y un escáner secundario montado en la parte trasera del vehículo (ver ambos en Imagen 17).



Imagen 16: El Spirit of Berlin con todos sus sensores montados. Fuente: (Berlin, 2007).

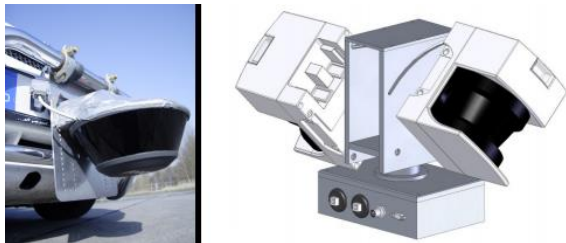


Imagen 17: A la izquierda el sensor láser frontal y a la derecha una representación CAD del escáner láser 3D de bajo costo. Fuente: (Berlin, 2007).

La información de los sensores láser se utiliza para proporcionar una corrección para el posicionamiento GPS utilizando filtro de partículas de exploración de coincidencia, una forma discreta del filtro de Kalman. También se ha desarrollado un novedoso escáner láser 3D de bajo costo que utiliza dos sensores LIDAR de un solo haz SICK, que giran alrededor de un eje vertical. Este va montado en la parte trasera del vehículo y se puede ver en a imagen 17 (Berlin, 2007).

3.3.2 Clavileño: Evolución de un vehículo autónomo (2010)

Investigación en sistemas de transporte inteligente (ITS) realizando un vehículo autónomo a partir de un Citroën C3. Se detalla la evolución del Clavileño, vehículo propulsado a gas, en su proceso de automatización hacia un coche totalmente de conducción autónoma. Se documentan las modificaciones requeridas para que un coche fabricado en serie pueda ser dotado de capacidades de conducción automática; los sistemas de sensores de a bordo son un LAN inalámbrico (Sistema de comunicación para recibir la información proveniente del puesto de control o de otros vehículos para realizar las acciones de control), RTK-DGPS (Sistema de guiado que corrige errores de trayectoria calculados con el receptor GPS de a bordo y la cartografía digital de alta precisión que define la ruta de destino), IMU (Sistema de control del automóvil) y cámaras (Dos cámaras situadas en el espejo retrovisor se

utilizan para realizar la detección de peatones). Estos componentes se pueden ver en la imagen 18. El sistema ha sido probado en un área controlada con otros vehículos en varios experimentos con buenos resultados (Milanés, Llorca, Vinagre, González, & Sotelo, 2010).



Imagen 18: Ilustración de Clavileño con imágenes de sus sensores. Fuente: (Milanés, Llorca, Vinagre, González, & Sotelo, 2010).

3.3.3 Control de movimiento en Maniobras de Vehículos autónomos (1998)

Investigación de los métodos de control relativos a la trayectoria autónoma y aparcamiento en paralelo de un vehículo. Los métodos desarrollados se basan en un modelo cinemático del vehículo. Por el Procedimiento siguiente, se realiza una parametrización de tiempo de una trayectoria dada. El algoritmo de control propuesto se estabiliza de manera exponencial el movimiento del vehículo a la vía factible deseado.

El aparcamiento autónomo se realiza como una secuencia de movimientos controlados usando datos de los sensores de los servo sistemas del automóvil y la medida del alcance del entorno local. Los métodos desarrollados se prueban en un coche automático experimental (Paromtchik, Laugier, Gusev, & Sekhavat, 1998).

3.3.4 Un enfoque de modelo predictivo de control de seguimiento de velocidad para vehículos terrestres autónomos (2015): School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China

En este trabajo se presenta un novedoso enfoque de control de seguimiento de velocidad basado en un marco modelo de control predictivo (MPC) para vehículos terrestres autónomos. Se propone un algoritmo de conmutación sin necesidad de calibración para determinar el control de la transmisión o el freno. Combinado con un sencillo modelo de vehículo inverso longitudinal y la regulación adaptativa de MPC, este algoritmo puede hacer uso del par de frenado del motor para diversas condiciones de manejo y evitar oscilaciones de alta frecuencia de forma automática. Un programa cuadrático simplificado (QP) la solución de algoritmo se usa para reducir el tiempo de cálculo, y el enfoque se ha aplicado en un microcontrolador de 16 bits. El rendimiento del enfoque propuesto se evalúa a través de simulaciones y pruebas de vehículos, que se llevaron a cabo en una serie de tareas de

seguimiento de la velocidad de perfil. Con una estructura de sistema bien diseñado, se consigue el control de velocidad de alta precisión. El sistema se puede modelar con firmeza la incertidumbre y las perturbaciones externas, y produce una respuesta más rápida con menos rebasamiento de un controlador PI (Zhu & Chen, 2015).

3.3.5 Cartografía a gran escala en escenarios de terrenos complejos utilizando un vehículo autónomo (2015). Instituto Federal do Espírito Santo (Campus Serra), Serra, Espírito Santo, Brazil

En este trabajo, se presenta un marco de extremo a extremo para la cartografía precisa a gran escala con aplicaciones en la conducción autónoma. En especial, el problema de la cartografía de entornos complejos, con características cambiantes de las calles arboladas a zonas urbanas con tráfico denso. El auto robotizado está equipado con un sensor de odometría, un 3D LIDAR Velodyne HDL-32E, una IMU, y un GPS de bajo costo, y los datos generados por estos sensores están integrados en una estimación basada en GraphSLAM pose. Estos sensores se pueden ver en la imagen 19.



Imagen 19: Vehículo utilizado con los sensores montados en el techo. Fuente: (Mutz, 2015).

Se presenta una nueva estrategia para la identificación y corrección de los datos de odometría utilizando algoritmos evolutivos. Esta nueva estrategia hace que los datos de odometría significativamente más consistente con el GPS. Convergencias de bucle se detectan utilizando los datos del GPS, y GICP, un algoritmo de registro de nubes de puntos 3D, se utiliza para estimar el desplazamiento entre los diferentes recorridos sobre la misma región. Después de la estimación de trayectoria, los datos 3D LiDAR se utiliza para construir una asignación de red de ocupación del medio ambiente, ver imagen 20. Se da una descripción matemática detallada de cómo la evidencia de ocupación puede calcularse a partir de las nubes de puntos, y también se presenta una estrategia para manejar las limitaciones de memoria del submapping.

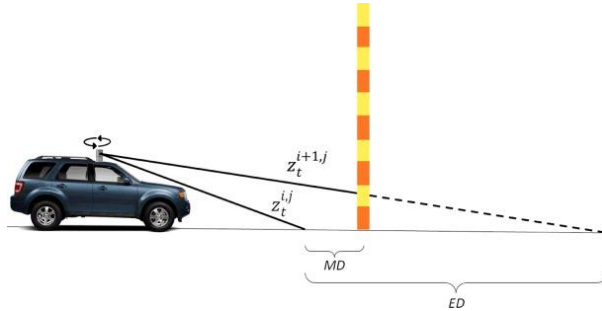


Imagen 20: Modo en que el sensor LIDAR funciona en este modelo. Fuente: (Mutz, 2015).

El marco propuesto se prueba en tres entornos del mundo real con diferentes tamaños y características: una playa de estacionamiento, una circunvalación universidad, y un barrio de la ciudad. En todos los casos, los mapas satisfactorios fueron construidos, con módulos de cierre preciso, incluso cuando el vehículo viaja largas distancias entre ellos (Mutz, 2015).

3.3.6 Controladores multivariables para un vehículo autónomo terrestre: Comparación basada en la fiabilidad del software (2014): Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Informática Aplicada, Madrid, España

Comparación de tres controladores de velocidad (regulador cuadrático lineal-LQR-, proporcional integral derivativo-PID-y difuso) con la intención de determinar cuál de ellos ofrece mejor fiabilidad desde una perspectiva software. Los controladores fueron diseñados para operar un vehículo autónomo terrestre y fueron ajustados

por medio de un algoritmo genético. Se sometió a cada controlador a la realización de un recorrido, de unos 20 minutos de duración máxima, sobre un suelo ligeramente ondulado. De las curvas de fiabilidad del software obtenidas se deduce que, en las condiciones experimentales planteadas, el controlador LQR ofrece el mejor comportamiento, el segundo lugar le corresponde al controlador PID y el tercero al controlador difuso (Cañas, 2014).

3.3.7 Delegar o no delegar: Una revisión de los marcos de control para los vehículos autónomos (2016): Centre for Mobility and Transport, Coventry University, Coventry, UK

Investigación de Como el papel del conductor se ve relegado a ser un simple asistente del sistema automático. Se toman en cuenta los principales problemas de factores humanos asociados con la interacción entre el usuario y un sistema autónomo, incluyendo apoyo a las decisiones de asistencia y la delegación de autoridad para el automóvil. Diferentes paradigmas de interacción se consideran y se hace hincapié en la colaboración que se lleva a cabo entre el conductor y el vehículo. Se consideran factores importantes que ayuden a la comunidad automovilística para comprender los problemas subyacentes del ser humano y su interacción dentro de los sistemas complejos (Richards, 2016).

3.3.8 Diseño de hardware personalizable de controladores Difusos aplicado a la conducción de vehículos autónomos (2015): Department of Electronics Engineering and Telecommunication, Faculty of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Brazil

En este trabajo se presenta un novedoso diseño de una arquitectura paralela eficiente reconfigurable para implementar controladores difusos en el hardware con casi ningún esfuerzo de diseño para los usuarios finales. La arquitectura propuesta en este documento se ha demostrado adecuada para incrustar. Es personalizable, por lo que permite la instalación y configuración de los parámetros del controlador, y por lo tanto su uso para cualquier aplicación problema. Dos controladores difusos que modelan la conducción de automóviles autónoma se implementan y su coste y rendimiento evaluados (Nedjah, 2014).

3.3.9 Sistema de navegación autónoma de un vehículo usando visión robótica y control difuso en LabVIEW (2011): Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México

Presentación de un sistema de navegación para un vehículo autónomo usando técnicas de visión robótica, desarrollado en LabVIEW con fines académicos. El sistema adquiere en tiempo real las imágenes del camino por recorrer. Estas imágenes son enviadas en forma inalámbrica a

una computadora, en donde un sistema de control, basado en reglas de control difuso, toma las decisiones de movimiento correspondientes. La computadora envía en forma inalámbrica las señales adecuadas al vehículo de control remoto, cerrando de esta manera el lazo de control. Las imágenes son capturadas en la computadora a través de la tarjeta de adquisición NI USB-6009 y procesadas en un sistema desarrollado bajo la plataforma de LabVIEW y sus herramientas de adquisición, procesamiento de imágenes y control difuso. Se incorpora un eficiente esquema de diseño basado en máquinas de estados para la navegación por las diversas escenas detectadas por la cámara. Se presentan resultados y conclusiones de este trabajo (Ramírez, Gómez, Martínez, & López, 2011).

3.3.10 PRT MIRAMON, Vehículo autónomo de Tecnia

El centro de investigación español Tecnia, ubicado en Euskadi, ha presentado un prototipo de vehículo sin conductor, dotado de inteligencia, comunicaciones avanzadas y sistema de posicionamiento y guiado de alta precisión. Estos sistemas han sido montados en un renaul Twizy, vehículo eléctrico de pequeño tamaño con capacidad para una persona (Huete, 2016).



Imagen 21: PRT MIRAMON de Tecnalía. Recuperado de: www.tecnalia.com/es/industria-transporte/noticias/premio-sta.htm

El vehículo fue presentado el 10 y 11 de febrero de 2016 en Málaga, en el marco de Transfiere, Foro Europeo para la Ciencia, Tecnología e Innovación, ver imagen 21. El prototipo mostrado está orientado hacia una solución de transporte de personal en zonas abiertas a otros tipos de vehículos en donde una flota de vehículos funciona bajo demanda de los usuarios haciendo recorridos en un entorno concreto como los parques empresariales, zonas portuarias o instalaciones industriales (Coches sin conductor, 2016)

Tecnológicamente, el prototipo consta de un vehículo eléctrico, dotado de control autónomo de la velocidad y dirección, un sistema sensorizado inteligente de reconocimiento del entorno para evitar situaciones de colisión con personas, vehículos u objetos, sistema de posicionamiento

basado en GPS, de muy alta precisión, que dirige al vehículo a través de una ruta prefijada, y un puesto de control y una infraestructura de comunicaciones y seguridad. (Huete, 2016).

3.4 Conclusiones

La tecnología de automatización de un vehículo está todavía en desarrollo, pero existen varios proyectos de investigación sobre este tema en el mundo, además de presentar un campo amplio para seguir mejorando. Es solo cosa de tiempo para que ver un vehículo autónomo circulando por las calles sea algo normal. Además queda claro que el proceso para automatizar un automóvil convencional es posible, pudiendo incluso intervenir automóviles que ya existen en el mercado para que se conduzcan autónomamente.

La posición de los sensores es clave para su buen funcionamiento, en especial con los LIDAR, ya que estos necesitan tener el mayor rango de alcance hacia adelante para evitar posibles accidentes. Por esto se debe ser cuidadoso de que el mismo automóvil no sea un obstáculo para la visión del sensor.

Viendo los automóviles usados en estas investigaciones y la distribución que hacen de sus sensores, se puede apreciar que la mayor cantidad de sensores están integrados en el techo o frente del vehículo, usando parillas o soportes pensadas solamente en la funcionalidad, ya que ninguno se ajusta a la estética de los automóviles.

Unidad 02
TECNOLOGÍA A UTILIZAR

Renault Twizy, sensores LIDAR y GPS

Capítulo 04
RENAULT TWIZY

Automóvil eléctrico a intervenir

4.1 Twizy

El Twizy es un vehículo eléctrico, de una o dos plazas, fabricado por la marca Renault. Ofrece la facilidad de ser recargado en cualquier enchufe doméstico de 220 V y 10 A. se puede ver en la imagen 22.

Desde finales de 2011 el Twizy se fabrica en la factoría de Renault en Valladolid donde hay una línea de ensamblaje para las baterías. La zona dedicada al Twizy ocupa 9 000 metros cuadrados y supuso una inversión de 8 millones de euros (Diario El Mundo, 2009).



Imagen 22: Renault Twizy. Recuperado de: www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/twizy/twizy/#ofertas_y_servicios

4.1.1 Dimensiones

- Ancho: 1234 mm.
- Largo: 2338 mm.
- Alto: 1454 mm.
- Longitud zona de carga: 2337 mm.
- Diámetro de giro: 3,4 metros

- Coeficiente aerodinámico S(M2)/Cx: 0,64.
- Voladizo trasero: 339 mm.
- Distancia entre ejes: 1686 mm.
- Voladizo delantero: 313 mm.
- Peso en vacío en orden de marcha: 473 kg.
- Peso total en orden de marcha: 690 kg.
- Carga útil: 110 kg.
- Volumen máximo de maletero: 31 litros (180 litros en la versión Cargo).

Datos recopilados de www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/twizy/twizy/#ofertas_y_servicios

4.1.2 Especificaciones

- chasis tubular de seguridad.
- Dirección sin asistencia y se maneja con un volante clásico.
- Suspensión independiente en las cuatro ruedas.
- Tracción es trasera.
- Cinturones de seguridad para el conductor y el pasajero.
- Airbag para el conductor.
- No dispone de calefacción ni aire acondicionado.
- No tiene frenos ABS ni control de estabilidad ESP.

Tiene un pedal acelerador y uno de freno. El cuadro tiene un velocímetro digital, reloj, indicador de autonomía restante, indicador de carga e indicador de consumo instantáneo.

En vez de palanca de cambios, dispone de un botón D para la marcha hacia delante y otro R para la marcha atrás. Si se pulsan los dos, la transmisión se quedaría en una posición equivalente al punto muerto (Renault España, 2011).



Imagen 23: Componentes interiores del Twizy.
Recuperado de: [Manual de uso del Renault twizy.](#)

4.1.3 Versiones

Todas las versiones comparten el motor y las baterías. La diferencia está en la relación del grupo reductor y la limitación de velocidad.

- Twizy Life 45: Velocidad máxima de 45Km/h, capacidad para 2 personas.
- Twizy Life 80: Velocidad máxima de 80Km/h, capacidad para 2 personas.

- Twizy Cargo: Velocidad máxima de 80Km/h, capacidad para 1 persona y maletero con llave de 180 litros.

Datos recopilados de www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/twizy/twizy/#ofertas_y_servicios

4.1.4 Motor

El Twizy Life 45 dispone de un motor de 4 kilovatios (5 CV) y 33 Nm. La velocidad máxima es de 45 km/h. Los Twizy Life 80 y Twizy cargo disponen de un motor de 8 kilovatios (11 CV) y 57 Nm. La velocidad máxima es de 80 km/h (Renault España, 2011).

4.1.5 Batería

Bajo los asientos dispone de una batería de iones de litio de 6,1 kWh. En Europa el vehículo se compra con la batería en alquiler. El alquiler mensual comienza en 50 euros y depende de los kilómetros recorridos.

La batería se recarga a través de un cable espiral con una toma Schuko que se encuentra en la parte frontal del vehículo, ver imagen 24. Puede ser conectado a una toma eléctrica doméstica de 220 V y 10 A. El tiempo de recarga es de 3 horas y 30 minutos (Renault España, 2011).



Imagen 24: Enchufes del tipo Schuko. Recuperado de:
fotos.pccomponentes.com/cables_de_alimentacion/cable_prolongador_electrico_schuko_macho_hembra_5m.jpg

4.1.6 Autonomía y consumo

En condiciones reales el Twizy 45 recorre entre 80 y 100 km y el Twizy 80 entre 48 y 72 km.

Los consumos según Renault son:

- Twizy Life 45: 58 Wh/km.
- Twizy Life 80: 63 Wh/km.

Datos recopilados de www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/twizy/twizy/#ofertas_y_servicios

4.2 Usos y modificaciones del Twizy

Además de ser un medio de transporte urbano, al Renault Twizy se le han dado distintos usos y ha

sufrido distintas modificaciones para cumplir esos objetivos asignados.

4.2.1 Toro, el Twizy Off-Road

Eco Travel Network es una empresa del Reino Unido que ofrece medios de transporte ecológicos de todo el Parque Nacional Breacon balizas desde el año 2012. Esta compañía transformó un Twizy para recorrer caminos rurales en bruto, ver imagen 25. Llamado Toro, este Twizy cuenta con unas ruedas más grandes, una suspensión modificada y una parrilla para llevar Bicicletas o equipaje (Brindusescu, 2014).



Imagen 25: Toro, Versión off-road del Twizy. Recuperado de:
<http://www.autoevolution.com/news/renault-twizy-used-as-off-roader-in-brecon-beacons-park-83555.html#>

4.2.2 Twizy RS F1, el Twizy de carreras

Concept car De Renault con componentes de la fórmula 1, ver imagen 26. Tiene un sistema Kinetic Energy Recovery System o KERS que multiplica por seis la potencia y pasa de forma instantánea de 17 a 97 caballos (72 kW), disponibles durante alrededor de 13 segundos. Acelera de 0 a 100 km/h en 6 segundos y su velocidad máxima es de 110 km/h (Dawes, 2013).



Imagen 26: Twizy RS F1. Recuperado de: www.dailymail.co.uk/sport/formulaone/article-2323767/Sebastian-Vettel-tries-Renault-Twizy-F1-car.html

4.2.3 Twizy ambulancia

En Birmingham, Inglaterra se ha modificado un Twizy cargo como ambulancia para llegar con primeros auxilios más rápido en caso de una emergencia, debido a la mayor movilidad urbana que presenta el Twizy por su reducido tamaño (Kane, 2015), ver imagen 27.



Imagen 27: Twizy ambulancia. Recuperado de: insideevs.com/renault-twizy-cargo-ambulance-unveiled

4.2.4 Twizy vehículo de Bomberos

En París, Francia se ha modificado un Twizy cargo como vehículo de bomberos para llegar con primeros auxilios más rápido en caso de una emergencia, debido a la mayor movilidad urbana que presenta el Twizy por su reducido tamaño (Chantaca, 2012), ver imagen 28.



Imagen 28: Twizy vehículo de Bomberos. Recuperado de: www.queautocompro.com/renault-twizy-ev-modificado-como-vehiculo-para-bomberos

4.2.5 Twizy policial

En Bologna, Italia se ha modificado un Twizy Life 80 como vehículo Policial para patrullar las calles (Corriere di Bologna, 2012), ver imagen 29.



Imagen 29: Twizy policial. Recuperado de: corrieredibologna.corriere.it/fotogallery/2012/6/carabinieri/carabinieri-festa-regionale-201487119022.shtml#2

4.2.6 PRT MIRAMON, Vehículo autónomo

Mencionando en la sección de Investigaciones realizadas en Vehículos autónomos, el PRT MIRAMON es el prototipo de vehículo autónomo de la empresa Teclalia, ver imagen 30.

Con este, la empresa española pretende dar respuesta a diferentes aspectos, como la mejora exponencial de la seguridad (lograr la meta de los 0 accidentes), sostenibilidad (priorizar la

propulsión eléctrica), integrar el del transporte en las ciudades inteligentes y en las futuras vías públicas, un entorno conectado para personas y vehículos y el aprovechamiento máximo del tiempo del viaje (Huete, 2016).



Imagen 30: PRT MIRAMON de Teclalia. Recuperado de: www.teclalia.com/es/industria-transporte/noticias/premio-sta.htm

Visitar el siguiente enlace para ver a este vehículo en acción:
https://www.youtube.com/watch?v=_nqLDS5uFco

Capítulo 05
HARDWARE A INTEGRAR

Sensores LIDAR y GPS

Para lograr que el vehículo Renault Twizy pueda conducirse autónomamente es necesario integrarle dos tipos de sensores, Un sensor LIDAR y un GPS. El primero para escanear el alrededor del vehículo y el segundo para saber su posición global y rutas a seguir.

5.1 Velodyne VLP-16 Real-Time 3D LiDAR Sensor

Para mapear el alrededor más cercano al automóvil y detectar objetos cercanos a él, es necesario un sensor LIDAR. Estos son similares al radar, excepto porque envía y recibe pulsos de luz en lugar de ondas de radio. (Schwarz, 2010).

El sensor LIDAR utilizado en este proyecto es un Velodyne VLP-16, ver imagen 31. Según el manual del producto (Velodyne LiDAR Inc., 2016):

El VLP-16 crea imágenes 3D 360° utilizando 16 pares de láser / detector montados en una carcasa compacta. La carcasa gira rápidamente para escanear el ambiente circundante.

Los láseres disparan miles de veces por segundo, proporcionando una rica nube de puntos 3D en tiempo real.

El procesamiento avanzado de señal digital y el análisis de forma de onda proporcionan alta precisión, detección de distancia extendida y datos de reflectividad calibrados.

Las características únicas incluyen:

- Campo de visión horizontal (FOV) de 360 °.
- Velocidad de rotación de 5-20 rotaciones por segundo (ajustable).
- Campo de visión vertical (FOV) de 30 °.
- Retornos de hasta 100 metros (el rango útil depende de la aplicación).

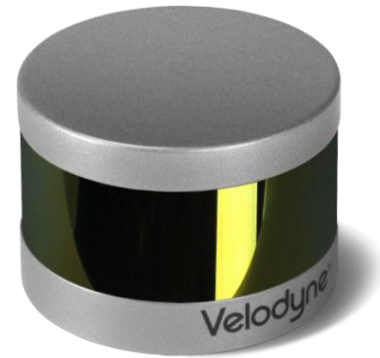


Imagen 31: Velodyne VLP-16. Recuperado de: velodynelidar.com/vlp-16.html

5.2 LAND-PAK GPS de Navcom

Para saber con precisión en qué lugar se encuentra posicionado y poder seguir el trazado de las rutas sin perderse, el vehículo autónomo necesita un GPS. En este caso se utilizó el LAND-PAK de Navcom, ver imagen 32.

Según el manual del LAND-PAK (Navcom, 2015):

El sistema LAND-PAK proporciona un nivel sin precedentes de rendimiento y flexibilidad al incluir las capacidades Ultra RTK, StarFire y RTK Extend de serie. Con Ultra RTK los usuarios reciben un rendimiento de centímetro hasta 40 km de la estación base, mientras que StarFire proporciona una precisión de cinco centímetros en cualquier lugar y en cualquier momento sin necesidad de una estación base. La función patentada RTK-Extend de NavCom permite a los usuarios trabajar en ambientes desafiantes y mantener la precisión del nivel RTK incluso durante los cortes de radio de la estación base.

La configuración rápida, la facilidad de uso y el excelente rendimiento permiten a LAND-PAK satisfacer las necesidades de los más exigentes topógrafos.

Características:

- Soporte UHF y GSM integrado.
- Bluetooth® sin cable, todo en el diseño del poste.
- Soporte de múltiples constelaciones. (GPS y GLONASS).
- Ultra RTK (hasta 40 km de línea de base).
- Red de una base con soporte para múltiples.
- formatos de mensajes.
- Receptor StarFire integrado con licencia de por vida.
- Precisión autónoma StarFire de cinco centímetros.

- Entrega de StarFire sobre IP incluida.
- Extensión de RTK: Coste a través de las paradas de la estación base.
- Baterías intercambiables en caliente para un funcionamiento continuo.
- El receptor SF-3040 GNSS funciona como base o rover.
- Resistente al agua ya los golpes.



Imagen 32: LAND-PAK GPS de Navcom.
Recuperado de:
www.navcomtech.com/navcom_en_US/products/equipment/cadastral_and_boundary/land_pak/land_pak.page

Unidad 03
DESARROLLO DE LA PROPUESTA
Desde el papel hasta el producto final

Capítulo 06
GENERACIÓN DE IDEAS

Evolución de modelos y prototipos

6.1 Encargo

El encargo consistía en crear un módulo en el cual se integren los sensores LIDAR y GPS al automóvil de manera simple y replicable, con la menor intervención posible al modelo original.

Los sensores debían tener operatividad óptima al momento de ser montados, además de canalizar los cables de control hacia la parte interior trasera del Twizy, donde estarán montados todos los controladores del vehículo.

6.1.1 Requerimientos de diseño

Para llegar a un producto funcional, existen ciertos requerimientos que se deben tener en cuenta al momento de diseñarlo. A continuación se muestran los requerimientos técnicos que se siguieron en el desarrollo de propuestas.

- **General:**

Por temas de garantía del automóvil no se pueden modificar las piezas originales del auto. En caso de ser esto necesario se debe replicar la pieza original y ser reemplazada.

La integración de los sensores debe ser en el techo del Twizy.

Integración sutil de los sensores, se debe minimizar el impacto visual de los sensores en el automóvil.

El módulo debe ser replicable, para poder montar en cualquier Renault Twizy.

Los materiales usados en las fijaciones deben ser estándar para poder ser replicado fácilmente.

Bases resistentes al agua, no deben generar filtraciones hacia el interior del vehículo.

- **Soporte del GPS:**

Debe tener una base firme.

Debe ir montado en la parte trasera del techo.

El GPS debe posicionarse entre 1,7 y 2 metros del suelo.

Los cables deben ser canalizados hacia el interior del automóvil.

- **Soporte del LIDAR:**

Debe tener una base firme.

Debe ir montado en la parte delantera del techo.

Debe posicionarse entre 3 y 6 cm del techo.

Debe permitir ajuste del ángulo en que se posiciona el láser.

No debe recibir vibraciones externas, solo las del automóvil.

Los cables deben ser canalizados hacia el interior del automóvil.

6.2 Antes del desarrollo de propuestas

Para poder realizar un correcto desarrollo de propuestas fue necesario hacer un trabajo previo de repicar y cambiar la pieza del techo del Renault Twizy. Este proceso será explicado a continuación.

6.2.1 Toma de medidas y modelados 3D

Ya que las piezas a realizar serán construidas con manufactura aditiva, es necesario tener los modelos 3D de los sensores mismos para poder desarrollar los prototipos. Por esto el primer trabajo realizado fue tomar las medidas de los sensores y luego hacer modelos 3D utilizando el programa inventor. La toma de medidas se realizó a mano con un pie de metro.

Los sensores irán montados en el techo del automóvil y las piezas originales de este no se pueden modificar, Es por esto que se decidió fabricar una réplica. Para la realización de una copia lo más exacta posible del techo original, las medidas se tomaron digitalmente.

Para tomar las medidas se utilizó un brazo digitalizador 3D MicroScribe. Se utiliza trazando los contornos del objeto físico para construir conjuntos de datos 3D. Antes de trabajar se trazaron líneas en las superficies a digitalizar, usando cinta de enmascarar, como se puede ver en la imagen 33. Esto para tener claro los puntos por donde se posicionará la punta del digitalizador. Luego se puso el digitalizador sobre una base firme y se procedió a tomar las cotas punto por punto la forma del techo. Los puntos digitalizados fueron recolectados por el software Rhinoceros 5.



Imagen 33: Líneas de referencia y toma de cotas.

Una vez teniendo los puntos en Rhino se exportan en formato STL para pasarlos al software Inventor. Con los puntos se pueden trazar líneas de referencia para luego hacer el modelo 3D del techo, como se puede apreciar en la imagen 34.

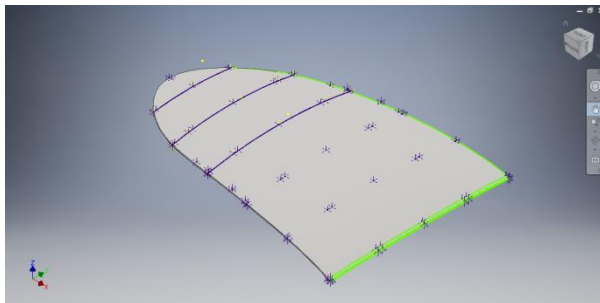


Imagen 34: Modelo 3D del techo del Twizy.

6.2.2 Replicado del techo

El techo del automóvil consiste en una placa de plástico termoformada, de 3,5 mm de espesor y de medidas 1083mm x 759mm x 96mm. Para poder replicarlo se mandó a fabricar a una empresa externa una pieza en resina poliéster y fibra de vidrio. El proceso para la fabricación de la réplica del techo fue la siguiente.

Tomando el modelo digitalizado del techo, hecho anteriormente, se procedió a realizar un molde de su superficie superior. Para esto se utilizó un bloque de MDF de 1010mm x 80mm x 105mm el cual fue fresado por una fresadora Router CNC modelo TechnoCNC LC Series 4896. Ver imagen 35.

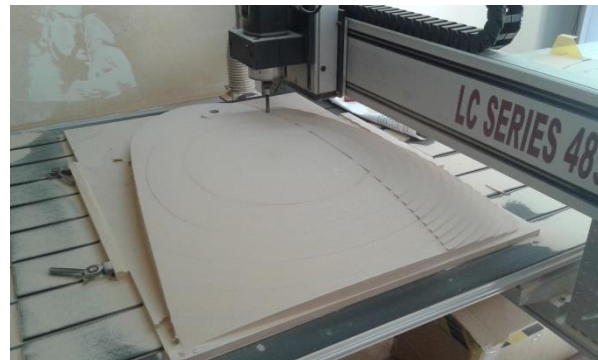


Imagen 35: Router CNC LC Series 4896 Trabajando en el molde para el techo.

Luego se rellenaron las imperfecciones del bloque con masilla automotriz, fue lijado a mano y se le aplicó sellador para madera. El resultado de este trabajo se puede ver en la imagen 36.



Imagen 36: Molde del techo finalizado.

El bloque fue llevado a la empresa D-Inventa que luego de 3 semanas entregó la réplica del techo, hecha en resina poliéster reforzada con fibra de

vidrio, con 3 a 4 milímetros de espesor y con acabado negro. Esta pieza se puede ver en la imagen 37.



Imagen 37: Replica del techo en las dependencias de D-Inventa, antes de ser entregado.

6.2.3 Montado del nuevo techo

Antes de poder desarrollar los soportes para los sensores GPS y LIDAR, se debe tener montado el nuevo techo de automóvil para poder probar los prototipos.

El primer paso para poner el nuevo techo fue desmontar el techo que viene de fábrica. Para esto se debió desmontar los paneles laterales, traseros y delanteros del Renault Twizy, ver imagen 38. Estos estaban asegurados solamente con broches de presión y tornillos de estrella número 20.



Imagen 38: Renault Twizy sin paneles laterales, traseros y frontales.

El techo original estaba pegado con silicona al marco del automóvil por lo que se debió usar una cuerda metálica, insertarla a través del cordón de silicona y luego tirar hacia atrás la cuerda para cortar la silicona y liberar el techo original, como se puede ver en la imagen 39. El último paso fue posicionar el nuevo techo en su lugar y volver a armar los paneles del automóvil.



Imagen 39: Cortado del cordón de silicona que mantenía el techo en su lugar, con ayuda del profesor Pablo Prieto.

El nuevo techo queda seguro en su lugar al solo montarlo, dejando el pegado con silicona solo para cuando el automóvil sea sacado a la calle y tenga los soportes finales. Esto porque mientras se montan los distintos prototipos de base, es necesario desmontar y montar el techo muchas veces. Una comparación de ambos techos se puede ver en la imagen 40.



Imagen 40: A la izquierda el techo original del Twizy, a la derecha el techo réplica.

6.3 Desarrollo de soporte para GPS

El desarrollo de forma de este soporte comenzó antes de mandar a fabricar el nuevo techo del automóvil pero la construcción del primer prototipo se hizo una vez que el techo replicado estaba montado y listo en el Twizy. A continuación se explicara el desarrollo del soporte para GPS, prototipo por prototipo hasta llegar a la pieza final.

6.3.1 Modelo G1

Este modelo es el primero que se pensó, solo fue hecho en modelado 3D. Es bastante simple, consta de una vara vertical que sostiene el GPS y de una superficie plana que va en bajo relieve montada en el techo, ver imagen 41. Se piensa hacer pasar los cables por dentro de la vara, haciendo que salgan por un agujero a solo 5 centímetros del GPS. Este modelo fue basado en la vara que viene originalmente con el kit del LAND-PAK.

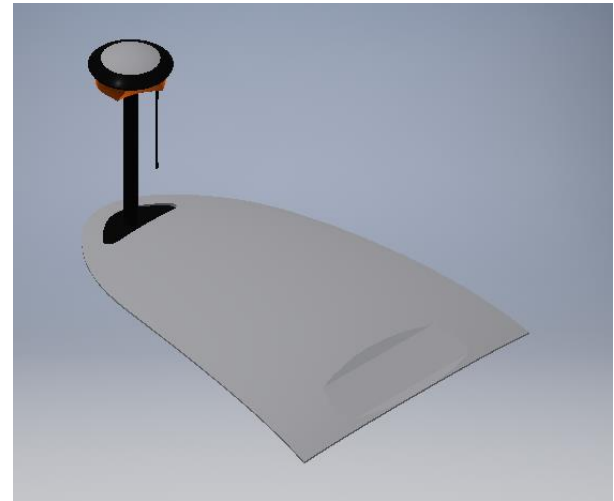


Imagen 41: Representación 3D del Modelo G1.

Los problemas de este modelo son primero que no se integra para nada con las líneas del auto, además de que interviene mucho el techo haciendo esa superficie plana en bajo relieve, que se puede ver en la imagen 42. Además en caso

de lluvia el bajo relieve se llenaría de agua, haciendo más probable que los implementos del interior se mojaran. Por último no se tienen en cuenta cómo se harán las uniones entre la vara y el techo.

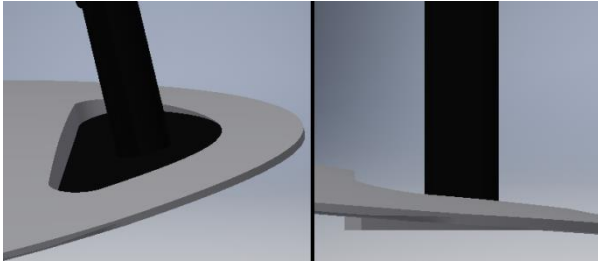


Imagen 42: Intervención en bajo relieve del techo.

Este modelo fue la primera idea que salió de juntar los conceptos conocidos más simples como es la vara con la que venía el GPS y que una superficie plana podría ser más estable para sostener a este sensor.

6.3.2 Modelo G2



Imagen 43: Representación virtual del Modelo G2 montado en el Twizy.

Este modelo solo fue hecho en modelado 3D. Nace de haber observado las líneas y formas del twizy. Intenta imitar las curvas de los paneles laterales del automóvil en una vara que se inclina en 45° en vez de ser vertical, ver imagen 44. Tiene una base ancla de 170mm x 70 mm que se ancla en una superficie plana, esta vez en sobre relieve, que se puede ver en la Imagen 45. La superficie plana es una extensión de la forma del mismo soporte pero haciendo la modificación en el techo. Se piensa hacer pasar los cables por dentro de la vara, haciendo que salgan por un agujero a solo 5 centímetros del GPS.

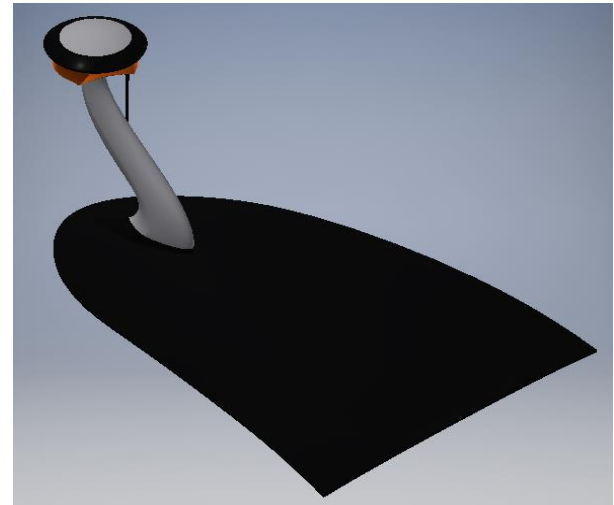


Imagen 44: Representación 3D del modelo G2.

Los problemas de este modelo son principalmente el gran tamaño de la vara, además de que las formas muy similares a la de los paneles hacen

que el soporte parezca una extensión del automóvil, haciendo parecer que mide 1,7 metros de alto, ver imagen 43. Por último no se tienen en cuenta el sello impermeable y cómo se harán las uniones entre la vara y el techo.

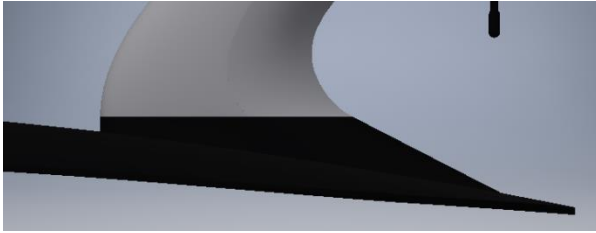


Imagen 45: Sobre relieve que se agregaría al techo por la implementación del Modelo G2.

6.3.3 Modelo G3



Imagen 46: Representación virtual del Modelo G3 montado en el Twizy.

Este modelo solo fue hecho en modelado 3D. Es una modificación del modelo G2 haciéndolo mucho más delgado. Intenta imitar las curvas de los paneles laterales del automóvil en una vara que se inclina en 45° en vez de ser vertical, ver imagen 47. Tiene una base ancla de 100mm x 60 mm que se ancla en una superficie plana en sobre

relieve. La superficie plana es una extensión de la forma del mismo soporte pero haciendo la modificación en el techo, ver imagen 48. Se piensa hacer pasar los cables por dentro de la vara, haciendo que salgan por un agujero a solo 15mm del GPS.

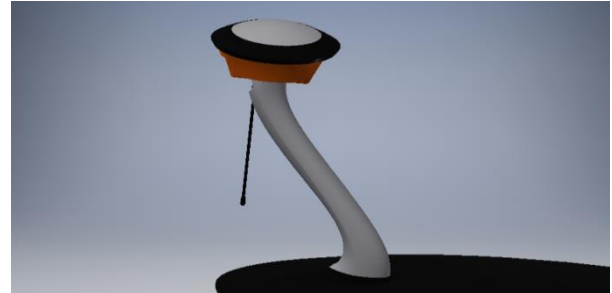


Imagen 47: Representación 3D del modelo G3.

Aun que se intentó mejorar la versión anterior se cometieron algunos de los mismos errores, como las formas muy similares a la de los paneles que hacen parecer al automóvil de 1,7 metros de alto, ver imagen 46. Tampoco se tienen en cuenta el sello impermeable y cómo se harán las uniones entre la vara y el techo.

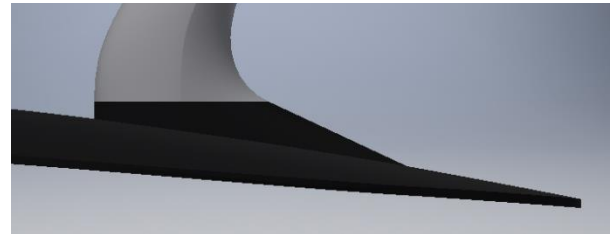


Imagen 48: Sobre relieve que se agregaría al techo por la implementación del Modelo G3.

6.3.4 Modelo G4

Este modelo solo fue hecho en modelado 3D. Consiste en una vara inclinada a 60° de la horizontal y dividido en 3 piezas; una base, una vara y una conexión para el GPS, ver imagen 49. Intenta imitar la forma de una antena de automóvil para evitar parecer una extensión del Twizy pero al mismo tiempo ser una parte que se integre al diseño general, ver imagen 50. Tiene una base circular de 88mm de diámetro que se ancla en una superficie plana en sobre relieve. La superficie plana es una extensión de la forma del mismo soporte pero haciendo la modificación en el techo. Se piensa hacer pasar los cables por dentro de la vara, haciendo que salgan por un agujero a solo 12 mm del GPS.

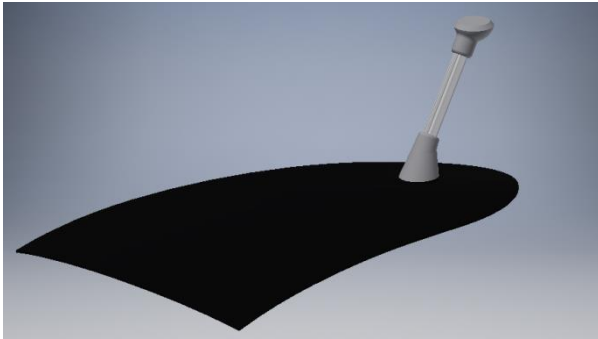


Imagen 49: Representación 3D del modelo G4.

Los problemas de este modelo son el no tener en cuenta cómo se harán las uniones entre la vara y el techo, no tener en cuenta el sello impermeable, el tener que modificar la forma original del techo y

el no tener en cuenta la unión entre el GPS y la vara.



Imagen 50: Representación virtual del Modelo G4 montado en el Twizy.

6.3.5 Modelo G5

Este modelo fue el primero en ser fabricado. Es básicamente una modificación del modelo G4. Consiste en una vara inclinada a 60° de la horizontal y dividido en 3 piezas; una base, una vara y una conexión para el GPS, ver imagen 51. Es el primer modelo que no modifica el modelo original del techo del automóvil y se posiciona directamente sobre este. La base y la conexión al GPS están pensadas para hacerse en impresoras 3D mientras que la vara que va en el medio es un tubo de aluminio anodizado de 1 ¼". Se piensa hacer pasar los cables por dentro de la vara, haciendo que salgan por un agujero a solo 35 mm del GPS. El anclaje del modelo 5 al techo es mediante 4 pernos Parker M5. La base del modelo 5 se posiciona en el centro del techo a 23 cm de la parte posterior del techo.



Imagen 51: Representación 3D del modelo G5.

El inconveniente de este modelo fue el espacio del agujero de salida de los cables, que estaba direccionado hacia abajo y no dejaba pasar bien los 3 cables que posee el GPS.



Imagen 52: Representación virtual del Modelo G5 montado en el Twizy.

6.3.6 Modelo G6



Imagen 53: Representación 3D del modelo G6.

Este modelo es una modificación del modelo anterior, ver imagen 53. Sus piezas son prácticamente las mismas del modelo G5 pero con la pieza de conexión para el GPS modificada para dejar pasar los cables, ver imagen 54.

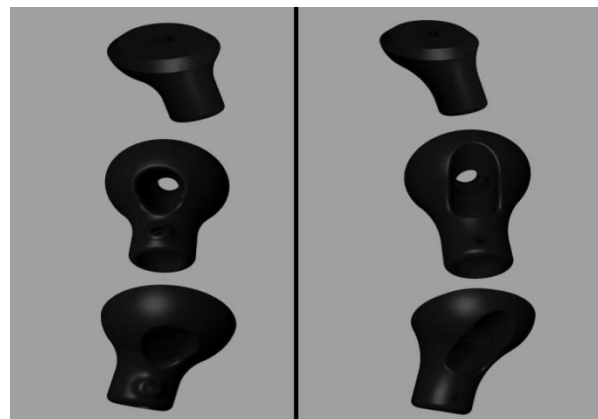


Imagen 54: A la izquierda diferentes vistas de la pieza de conexión modelo 5, a la derecha diferentes vistas de la pieza de conexión modelo G6.

6.4 Desarrollo del soporte para sensor LIDAR

Este soporte se desarrolló una vez que el soporte del GPS ya estaba terminado. Se comenzó por la compra de un soporte provisional para evaluar tamaño, calidad de la pieza, tener un punto de referencia y luego desarrollar un soporte apropiado. A continuación se explicara el desarrollo del soporte para sensor LIDAR, prototipo por prototipo hasta llegar a la pieza final.

6.4.1 Modelo L1

Este modelo consta de una base comprada. Es un soporte para cámara Go Pro unido a un adaptador de cámara convencional, ver imagen 55 y 56. Esto debido a que el sensor LIDAR tiene una conexión de rosca universal de 1/4" como las cámaras fotográficas comunes.



Imagen 55: Modelo L1.

Este soporte se montó en el techo del Twizy centrado y a 15 cm del frente del techo. El modelo L1 solo fue una prueba para ver la resistencia de este tipo de soporte y saber si podía ser usado para un diseño posterior.



Imagen 56: Partes que componen el modelo L1.

La razón de no usar este soporte fue que no era lo suficientemente firme para sostener el sensor LIDAR, debido a que la superficie de contacto del sistema de fijación de la bisagra no era suficiente. En su lugar después de un movimiento hacia adelante o hacia atrás del Twizy.

Además el sensor LIDAR está conectado por un cable a su caja de control de 85 x 107 x 35 mm, y no se pueden desacoplar. Por esto es necesario hacer un agujero en el techo de 115 x 45 mm para que la caja pueda pasar hacia el interior del automóvil, haciendo que la base de este soporte sea muy pequeña para tapar el agujero.

6.4.2 Modelo L2

Este modelo se basó también en un soporte para cámara ya existente. Para ser más preciso, se compró un trípode para cámara fotográfica Soligor WT-3230, ver imagen 57. De este se utilizó la zapata, la rosca universal y el soporte que va unido a la primera rótula. Esta pieza se puede observar en la imagen 59 y es necesaria para poder posicionar en distintos ángulos al sensor LIDAR cuando sea necesario.



Imagen 57: Trípode Soligor WT-3230. Recuperado de: <http://todocamaras.cl/soligor/196-tripode-soligor-wt-3220.html>.

El modelo L2 se divide en 5 piezas principales:

- 1) **Base**, pensada para sostener resto de las piezas, contener las tuercas para ser anclado al techo, permitir el paso del cable del sensor LIDAR hacia adentro del Twizy y sellar el agujero dejado en el techo para el paso del controlador del sensor, ver imagen 58.

- 2) **Tapa deslizable**, que mantiene el cable del LIDAR en su lugar, ver imagen 58.
- 3) **Espaciador**, que le da la altura y el ángulo necesario al sensor, ver imagen 58.
- 4) Réplica del **soporte** que es parte del mismo trípode. Esta pieza se acopla con la pieza extraída del mismo trípode, ver imagen 58.
- 5) **Conexión con el LIDAR**, esta es la pieza que se utilizó del trípode comprado y se puede ver en la Imagen 59.

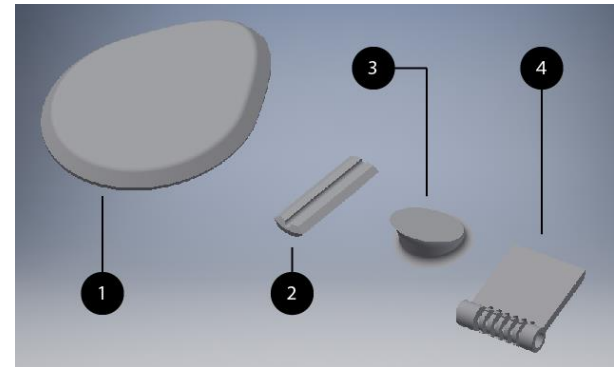


Imagen 58: Partes del modelo L2, 1) Base, 2) Tapa deslizable, 3) Espaciador y 4) Réplica del soporte.

Los inconvenientes de este modelo fueron el no tener en consideración un sello impermeable para que el agua no entrara al Twizy y poseer partes muy angulosas que no se integraban totalmente con las líneas generales de vehículo, ver imagen 60.



Imagen 59: Pieza del trípode usado en este soporte. A la izquierda un despiece, a la derecha la pieza armada.

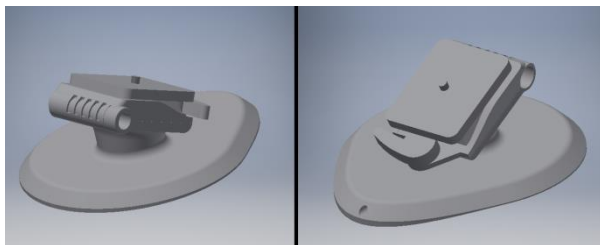


Imagen 60: A la izquierda la vista delantera y a la derecha la vista trasera del modelo L2.

6.4.3 Modelo L3

Este modelo es una modificación del modelo anterior, ver imagen 62. Usó la misma pieza de conexión con el LIDAR extraída del trípode.

Este modelo se divide en 4 piezas principales:

- 1) **Base**, prácticamente igual a la base del modelo L2 pero esta tiene una ranura para poner un o'ring y hacer que el sello sea impermeable. Esta pieza está

pensada para sostener resto de los componentes, contener las tuercas para ser anclado al techo, permitir el paso del cable del sensor LIDAR hacia adentro del Twizy y sellar el agujero dejado en el techo para el paso del controlador del sensor. Además tiene un calce en bajo relieve para montar el nuevo soporte , ver imagen 61.

- 2) **Tapa deslizable**, que mantiene el cable del LIDAR en su lugar. Prácticamente igual al modelo anterior, ver imagen 61.
- 3) **Soporte** para acoplar con la pieza extraída del mismo trípode. Es una mezcla entre el espaciador y soporte del modelo anterior pero con una forma más redondeada que se integra mucho mejor con las líneas y demás componentes del Twizy, ver imagen 61.
- 4) **Conexión con el LIDAR**, esta es la pieza que se utilizó del trípode comprado, ver imagen 59.

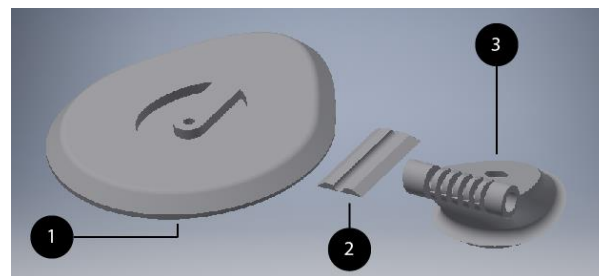


Imagen 61: Partes del modelo L3, 1) Base, 2) Tapa deslizable y 3) Soporte.

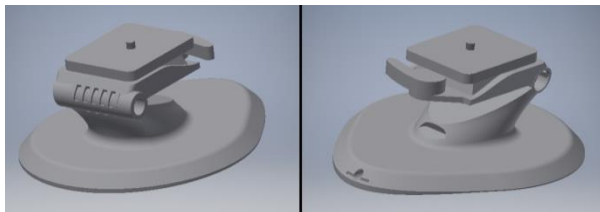


Imagen 62: A la izquierda la vista delantera y a la derecha la vista trasera del Modelo L3.

Este modelo fue fabricado y utilizado en el automóvil.

6.5 Apoyos internos

Para aumentar la superficie interna de apoyo en el techo y lograr una integridad estructural con este, es necesario tener una estructura interna en que encajen la cabeza de los pernos y además brinden una amplia superficie para mantener los soportes firmes en su lugar. De esta manera es que para cada soporte se desarrolló un apoyo interno.

6.5.1 Apoyo G5

Desarrollado para el soporte para GPS modelo G5, Fue el primer modelo de apoyo diseñado y modelado en 3D. Consiste en una pieza con forma de herradura, la cual tenía 4 agujeros en los cuales calzaban los pernos que aseguraban el modelo G5.

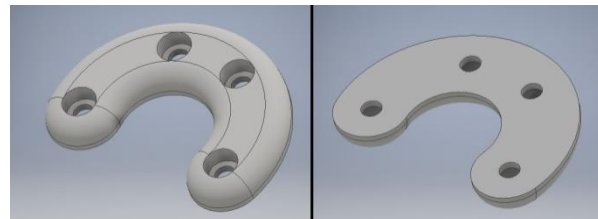


Imagen 63: A la izquierda la vista inferior y a la derecha la vista superior del apoyo G5.

Sus dimensiones generales son de 66 x 47 x 7mm.

El problema de este diseño es que la superficie que abarcaba era muy pequeña y el modelo G5 no quedaba anclado firmemente al techo, ver imagen 63.

6.5.2 Apoyo G6

Desarrollado para el soporte para GPS modelo G5, Consiste en una pieza con forma ovalada, la cual tiene 4 agujeros en los cuales calzan los pernos que aseguran el modelo G6, y otro agujero más grande por el cual podían pasar los cables hacia el GPS. En su cara superior tiene la forma exacta del techo por lo que calza perfectamente.

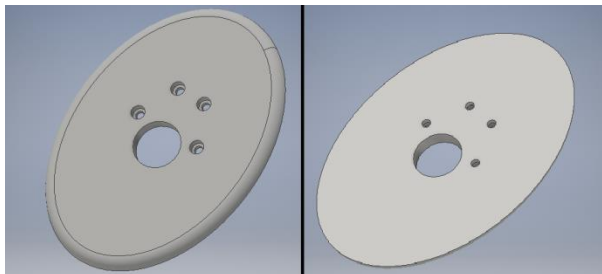


Imagen 64: A la izquierda la vista inferior y a la derecha la vista superior del apoyo G6.

Por su tamaño de 180 x 130 x 8mm presenta más superficie para sostener al Modelo G6 en su lugar, ver imagen 64.

6.5.3 Apoyo L1

Desarrollado para el soporte de sensor LIDAR Modelo L1, consiste en una pequeña pieza que rodea completamente la cabeza del perno. Tiene 23 mm de diámetro y 9 mm de alto, ver imagen 65.

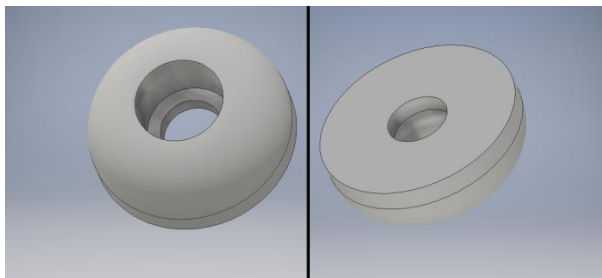


Imagen 65: A la izquierda la vista inferior y a la derecha la vista superior del apoyo L1.

6.5.4 Apoyo L2

Desarrollado para el soporte de sensor LIDAR Modelo L2, consiste en una pieza con forma ovalada, la cual tiene 4 agujeros en los cuales calzan los pernos que aseguran el modelo L2, ver imagen 66. En su cara superior tiene la forma exacta del techo por lo que calza perfectamente y también tiene un surco para permitir el paso del cable del LIDAR.

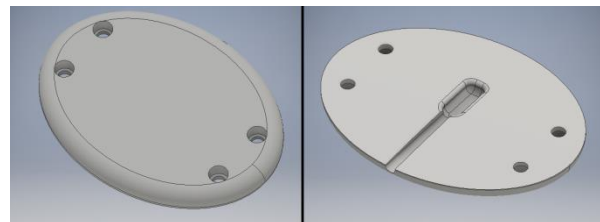


Imagen 66: A la izquierda la vista inferior y a la derecha la vista superior del apoyo L2.

Su tamaño es de 135 x 100 x 10 mm.

6.5.5 Apoyo L3

Desarrollado para el soporte de sensor LIDAR Modelo L3, consiste en una pieza con forma ovalada, la cual tiene 4 agujeros en los cuales calzan los pernos que aseguran el modelo L3. En su cara superior tiene la forma exacta del techo, también tiene un surco para permitir el paso del cable del LIDAR y una extrusión rectangular de medidas 115 x 45 mm, para calzar perfectamente en el agujero hecho en el techo. En su cara

inferior va grabado en bajo relieve el logo del AC3E, ver imagen 67.

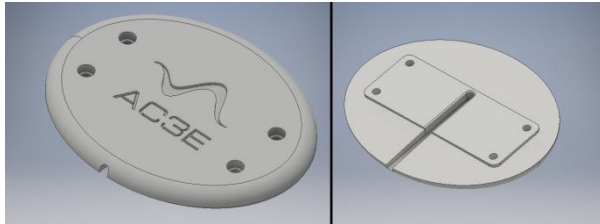


Imagen 67: A la izquierda la vista inferior y a la derecha la vista superior del apoyo L3.

Su tamaño es de 150 x 120 x 10mm.

Capítulo 07
PROCESO DE FABRICACIÓN

De un modelo virtual a un prototipo real

A continuación se mostrarán los pasos seguidos en el proceso de fabricación de los prototipos que evolucionaron hasta las piezas finales.

Como algunas de las piezas desarrolladas tienen formas complejas de obtener por medios de manufactura tradicional es que se utilizarán máquinas de manufactura aditiva o impresoras 3D, que tienen como gran atributo el generar piezas de manera rápida y simple, por lo tanto es la tecnología ideal para ser utilizada en la fabricación de estas piezas.

7.1 Fabricación por adición de material o impresión 3D

El proceso de manufactura aditiva es una técnica de fabricación de objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. Como su nombre lo dice, los objetos son obtenidos mediante la adición de material por capas sucesivas siguiendo el contorno del objeto. LA impresión 3D es entonces todo lo contrario a las técnicas de manufactura tradicionales que en su mayoría se basan en extracción de material. Por ejemplo trabajos con tornos, fresadoras, Taladros, guillotinas, etc. (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013)

Existen seis tipos de tecnologías de manufactura aditiva, los cuales son Sinterizado Láser Selectivo (SLS), Estereolitografía (SLA), Impresión en polvo con chorro de tinta, Modelado por deposición fundida (FDM), Polyjet y Sinterizado Directo de Metal Láser (DMLS). De estos procesos solo se utilizó uno para la construcción de los prototipos y

piezas, por lo que solo se hablará del proceso de FDM (Evans, 2012). Una máquina que trabaja con el método FDM se puede ver en la imagen 68.



Imagen 68: Impresora 3D Makerbot Replikator Mini.
Recuperado de: www.makerbot.com/replicator-mini.

7.1.1 Modelado por deposición fundida

Este es el método más común, ya que es el que usan las impresoras 3D de escritorio y bajo costo. El funcionamiento básico de estas máquinas consiste en hacer pasar un filamento de plástico por un extrusor que depositará controladamente el material en una superficie y hacer la pieza capa por capa. El filamento de plástico viene enrollado

en bobinas, las cuales alimentan la boquilla del extrusor, este se calienta para fundir el material. Los termoplásticos se calientan más allá de su temperatura de transición vítrea y a continuación son depositados por un cabezal de extrusión (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013).

Por lo general el extrusor se mueve a lo largo de los ejes X e Y por un mecanismo controlado por computador, mientras que la base se mueve en el eje z. El movimiento de la boquilla y la base son controlados por un software CAM, traducido a un código G. El objeto se va construyendo de abajo hacia arriba por capas, gracias a que el material va endureciendo inmediatamente después de la extrusión (Evans, 2012), ver imagen 69.

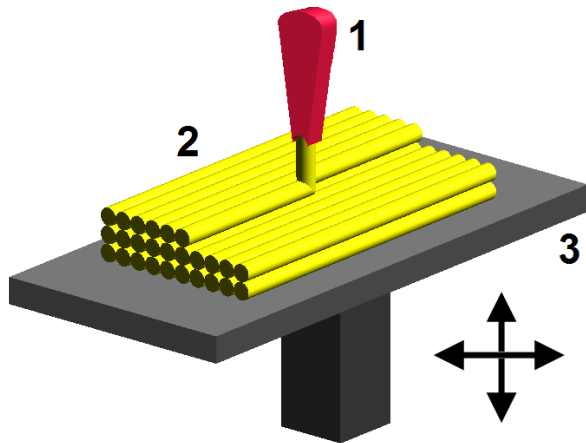


Imagen 69: Modelado por deposición fundida: 1) boquilla inyectando material fundido, 2) material depositado (parte modelada), 3) mesa móvil controlada. Recuperado de: 3dprinting.com/what-is-3d-printing.

Estas máquinas pueden trabajar con distintos tipos de materiales como ABS, PLA, olicarbonato, poliamida, poliestireno, lignina y algunos otros (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013).

7.1.2 PLA y ABS

Los materiales más comunes usados en las impresoras 3D son el PLA (Polylactic acid), un material plástico biodegradable y respetuoso con el medio ambiente derivado del almidón de maíz, y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) derivado de combustibles fósiles. Este último es comúnmente utilizado para producir parachoques de coches debido a su fuerza y dureza, así como los conocidos ladrillos de Lego. Estos filamentos se funden a unos 170 a 250°C (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013).

7.2 Impresoras 3D Utilizadas

Para el desarrollo de los prototipos y posteriores modelos finales se utilizaron 2 máquinas de manufactura aditiva, disponibles en las instalaciones de IDP. La impresora 3D Ultimaker 2 fue usada para prototipos y dos de los modelos finales, mientras que la impresora 3D uPrint SE fue usada para hacer modelos finales, debido a que esta ofrece una mejor calidad de superficie y estructura en las piezas que fabrica.

7.2.1 Ultimaker 2

La Ultimaker 2 es una impresora 3D construida por la empresa Ultimaker, ver imagen 70. Según la misma página web de la empresa www.ultimeker.com:

Diseñado para funcionar, el Ultimaker 2+ es confiable, eficiente y fácil de usar. Gracias a su soporte de una amplia gama de materiales, es adecuado para una gran variedad de aplicaciones, desde prototipos hasta herramientas personalizadas. Es una gran impresora 3D total que ofrece resultados consistentes.

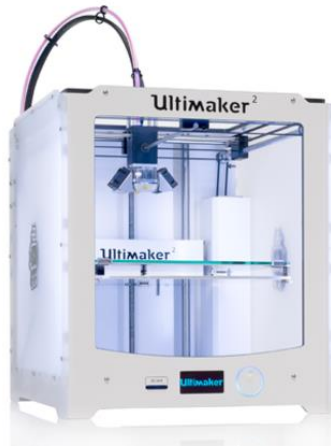


Imagen 70: Ultimaker 2. Recuperado de: www.ultimaker.com

Sus principales características con:

- Volumen de construcción de 223 x 223 x 205 mm.
- Trabaja con filamentos de PLA, ABS, CPE, CPE+, PC, Nylon, TPU 95^a.
- Resolución entre 600 y 20 micrones.
- Velocidad máxima de construcción de 150 mm/s.
- Velocidad máxima de traslado 300 mm/s.

El software que viene con esta impresora 3D se llama CURA (ULTIMAKER).

7.2.2 uPrint SE

La uPrint SE es una impresora 3D profesional construida por la empresa stratasys, ver imagen 71. Según la misma página web de la empresa www.stratasys.com:

Diseñadores, ingenieros y educadores - miles de profesionales confían en uPrint SE para probar y perfeccionar su trabajo con el modelado 3D. Esta impresora multifuncional utiliza la tecnología FDM para construir termoplásticos ABSplus, lo que resulta en modelos y prototipos funcionales que son duraderos, estables y precisos (Stratasys).



Imagen 71: uPrint SE. Recuperado de: www.stratasys.com

Sus principales características con:

- Doble extrusor, una principal y otro de material de soporte.
- Volumen de construcción de 203 x 152 x 152 mm.
- Filamento principal ABSplus.
- Filamento de soporte SR-30 soluble.
- Grosor de la capa: 0.254 mm.

El software que viene con esta impresora 3D se llama CatalystEX (Stratasys).

7.3 Para comenzar el prototipado

Los siguientes procesos fueron seguidos para producir los prototipos mediante tecnología de manufactura aditiva. Los elementos esenciales para este proceso son el modelo digital de la pieza, un software para generar el código G, una impresora 3D para fabricar la pieza y el material que alimentará a la máquina.

7.3.1 Trabajando con la Ultimaker 2

Para fabricar una pieza en la impresora 3D Ultimaker 2 se deben seguir los siguientes pasos:

7.3.1.1 Para fabricar el prototipo

- El primer paso es tener modelado en digital el modelo a fabricar. Esto se logra mediante software CAD. En el caso de este proyecto las piezas fueron modeladas en Inventor y fueron mostradas en el capítulo 06. Estos modelos 3D deben ser exportados en formato .stl.
- Se debe abrir el Software Cura y cargar el modelo 3D. En el caso de IDP, la versión disponible era Cura 15.06.03. Para cargar el modelo se debe ir al menú "FILE" en la esquina superior izquierda de la pantalla y seleccionar la opción "Open file". Luego de esto buscar el archivo deseado en la pestaña emergente.
- El modelo 3D aparecerá en la plataforma que muestra el software. Ahora es posible mover, rotar y escalar la pieza eligiendo las herramientas en el costado inferior izquierdo de la pantalla. Se debe

acomodar la pieza hasta que quede en la posición deseada para imprimir, ver imagen 72.

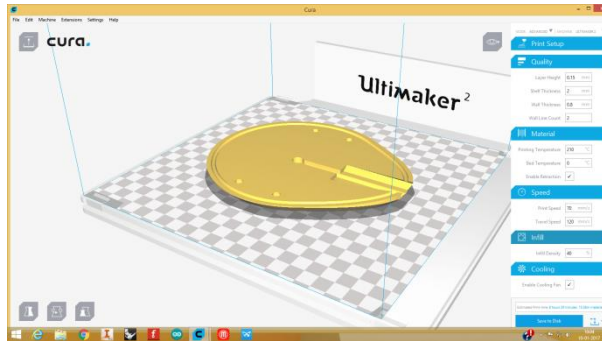


Imagen 72: Base del modelo L3 en la plataforma del software Cura.

- En el costado derecho de la pantalla se despliega el menú “Print Setup” que contiene todas las opciones de configuración para construir la pieza. En la sección “Quality” se elige la calidad de la pieza con opciones como espesor de la capa, grosor de las capas superior e inferior y número de capas en las paredes del modelo. En la sección “Material” se puede seleccionar la temperatura del extrusor y la superficie de construcción. En la sección “Speed” se puede seleccionar la velocidad de construcción y desplazamiento del extrusor. En la sección “Infill” se selecciona el porcentaje de relleno de la pieza. En la sección “Cooling” se selecciona el funcionamiento del ventilador del extrusor. En la sección “Support” se puede activar y configurar el material de soporte. En la sección “Platform adhesión” se puede activar y configurar una capa

base o plataforma para la pieza. El software entregará un tiempo estimado de construcción al final del menú de configuración.

- Para imprimir la pieza se puede mandar a imprimir directamente si es que la Ultimaker está conectada via USB al computador o se puede pasar los datos de código G a una memoria SD que luego debe ser insertada en la impresora 3D. En el desarrollo de este proyecto se utilizó el último método, y para guardar el código G solo debía conectar la memoria SD al computador y luego presionar el botón “save to SD card” en la parte inferior derecha del software Cura.

- En la Ultimaker se usa el botón para seleccionar la opción “Print”, ver imagen 73. Se obtendrá acceso a los archivos guardados en la memoria SD, luego se gira el botón para buscar el archivo recientemente cargado. Se presione el botón nuevamente para imprimir.



Imagen 73: Menú de la Ultimaker 2 con la opción “Print” seleccionada.

- La Ultimaker comenzará a precalentar el extrusor. En caso de que sea necesario se debe aplicar pegamento en la base. Cuando esté a la temperatura adecuada comenzará a imprimir. Es

necesario supervisar el funcionamiento de la máquina en el caso de que se presente alguna falla en la construcción de la pieza.

7.3.1.2 Cuando la pieza está lista

Para retirar la pieza una vez que la máquina termina de trabajar es necesario:

- Retirar la plataforma de trabajo con mucho cuidado.
- En caso de haber aplicado pegamento a la superficie es necesario poner un poco de agua alrededor de la pieza.
- Con cuidado comenzar a retirar la pieza de la superficie usando una espátula.

7.3.2 Trabajando con la uPrint SE

Para fabricar una pieza en la impresora 3D uPrint SE se deben seguir los siguientes pasos:

7.3.2.1 Para imprimir el prototipo

- El primer paso es tener modelado en digital el modelo a fabricar. Estos modelos 3D deben ser exportados en formato .stl.
- Se debe abrir el Software CatalystEX y cargar el modelo 3D. Para cargar el modelo se debe ir al menú “archivo” en la esquina superior izquierda de la pantalla y seleccionar la opción “Abrir archivo STL”. Luego de esto buscar el archivo deseado en la pestaña emergente, ver imagen 74.

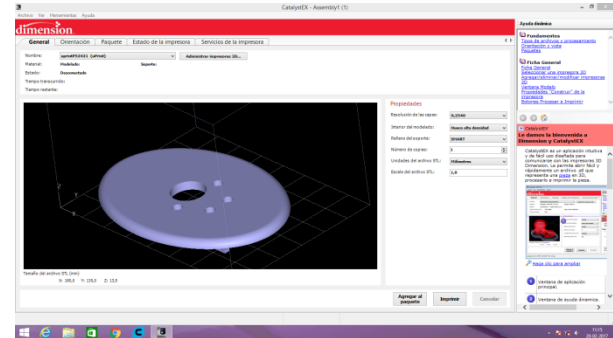


Imagen 74: Apoyo G6 en la plataforma del software CatalystEX.

- El modelo 3D aparecerá en la plataforma que muestra el software. Ir a la pestaña “general”, y al lado derecho de la pantalla habrá un menú llamado Propiedades. En él se podrá elegir la resolución de las capas (0,25mm), El interior del modelado o cantidad de relleno (sólido, hueco de alta densidad o hueco de baja densidad), número de copias, Unidades del archivo STL (pulgadas o milímetros) y finalmente la escala del archivo stl, ver imagen 75.



Imagen 75: Menú propiedades del software CatalystEX.

- Ir a la pestaña “Orientación”, en esta se puede rotar la pieza para que se imprima en la dirección correcta. Para girar la pieza se debe ir a la parte derecha de la pantalla a la opción “grados” para elegir cuanto rotará la pieza. Luego en las opciones “Girar” se puede elegir el eje en que se hará el giro, presionando los botones X, Y o Z, ver imagen76.

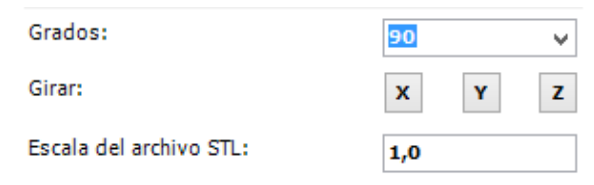


Imagen 76: Opciones “Grados y “Girar” del menú “Orientacion” en el software CatalystEX.

- Teniendo lista la posición se debe presionar el botón “agregar al paquete” en la parte inferior derecha de la pantalla.

- Ir a la pestaña “Paquete”. En esta se puede elegir el lugar de la plataforma en que se hará la pieza, ver imagen 77.

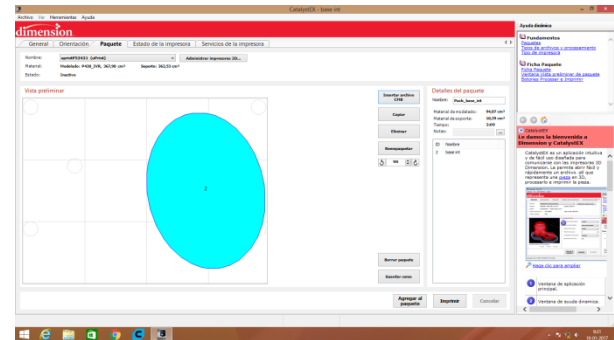


Imagen 77: Apoyo L3 en la ventana “Paquete” del software CatalystEX.

- Para imprimir se debe presionar el botón “Imprimir” en la parte inferior derecha de la pantalla y confirmar en la pantalla de la impresora 3D.

7.3.2.2 Cuando la pieza está lista

Para retirar la pieza una vez que la máquina termina de trabajar es necesario:

- Abrir la puerta de la impresora.
- retirar la plataforma de trabajo con mucho cuidado, girando hacia afuera los dos seguros y luego tirando hacia afuera la plataforma.

- Con cuidado comenzar a retirar la pieza de la superficie usando una espátula.

- Si es necesario se debe retirar el material de soporte golpeándolo suavemente con un martillo de goma. Para retirar el material de soporte que sea más difícil de acceder es necesario usar un limpiador de ultrasonido. En él sumergir la pieza en un baño de Hidróxido de sodio y agua a una concentración de 22 gramos de Hidróxido de sodio por cada litro de agua.

7.3.2 Terminaciones

Las piezas que se usaron como prototipos no recibieron ningún tipo de trabajo extra. Estas fueron usadas tal cual salían de la impresora 3D, pero para las piezas finales fue necesario lijar o pintar para obtener una mejor calidad superficial. El proceso fue el siguiente.

- En las piezas que lo necesitaran se retiró el material de soporte usando una herramienta cortante.

- Usando lija gruesa, de grano 60 y luego 80, se remueven las pequeñas imperfecciones de la superficie.

- Se suaviza la superficie haciendo pasadas con lijas más finas, de grano 100, 150 y 240.

- finalmente se pinta la superficie con pintura en aerosol, aplicada en 3 capas.

Capítulo 08
PROTOTIPOS Y MODELOS FINALES

Resultados de la manufactura aditiva

El proceso de prototipado de los modelos mostrados anteriormente en el capítulo 06 se verá a continuación.

8.1 prototipado del soporte para GPS

Las versiones G1, G2, G3 y G4 del soporte para GPS solo fueron modeladas en 3D. El primer modelo que se fabricó fue el G5.

8.1.1 Modelo G5

Como se mencionó anteriormente este modelo consiste en una vara inclinada a 60° de la horizontal y dividido en 3 piezas; una base, una vara y una conexión para el GPS, ver imagen 78. La vara es un tubo de aluminio anodizado de 1 ¼" de 305 mm cm de largo.



Imagen 78: Modelo G5 En una base de prueba sosteniendo el sensor GPS.

La base y la conexión del modelo G5 fueron manufacturadas en una impresora Ultimaker 2, con filamento de PLA negro. Con espesor de capa 0.15 mm y 5% de relleno interior, ver imagen 79.

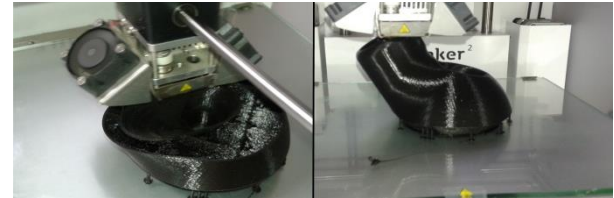


Imagen 79: Construcción de la pieza "conexión" del modelo G5 en la impresora 3D Ultimaker 2.

Debido a que la base del modelo va atornillada al techo del Twizy fue necesario poner tuercas insertas en el modelo. Para esto fue necesario modelar la pieza con el espacio para las tuercas en su interior y pausar la impresión 3D luego de que se construyan estos espacios pero antes de que los cierre con una capa superior. En ese momento se insertan las tuercas y luego se continúa la impresión, ver imagen 80. De esta manera las tuercas quedan en el interior del prototipo.



Imagen 80: A la izquierda las tuercas insertas en la pieza base, a la derecha la impresora 3D sigue imprimiendo luego de hacer los insertos.

Las piezas fueron construidas con éxito, pero debido a que las medidas en los espacios para introducir el tubo fueron muy justas, fue necesario lijar las piezas y en el extremo de la base limar con esmeril el tubo metálico, ver imagen 81. Luego de esto el modelo G5 encajó correctamente.



Imagen 81: Partes del modelo G5. En la parte inferior de la vara de aluminio se puede ver el espacio limado.

Se pensó usar pernos Parker M5 para asegurar las piezas en su lugar, haciendo hilo en el mismo tubo de aluminio. Esta idea no funcionó ya que el aluminio, muy blando, no aguantaba la rosca y se rodaba. Finalmente, y ya que este era el primer prototipo, se dejó solamente montado y no se atornillaron las piezas al tubo metálico.

8.1.2 Modelo G6

Ya que este modelo es una modificación del anterior solo la pieza de conexión para el GPS fue

modificada, solo se reemplazó esta parte del prototipo anterior.



Imagen 82: Construcción de la pieza "conexión" del modelo G6 en la impresora 3D Ultimaker 2.

La conexión del modelo G6 fue manufacturada en una impresora Ultimaker 2, con filamento de PLA negro, ver imagen 82. Con espesor de capa 0.15 mm y 10% de relleno interior.



Imagen 83: Modelo G6 sosteniendo al sensor GPS con todos sus cables conectados.

Como el prototipo anterior, esta pieza se dejó solamente montada y no se atornilló al tubo metálico.

8.1.3 Modelo G6 Pieza Final

Luego de las pruebas con los prototipos del modelo G6 se decidió que este sería el diseño final del soporte del GPS, es por eso que se debió construir de nuevo este modelo pero con calidad de modelo final, ver imágenes 84 y 85. Es por esto que se utilizó filamento de ABS en estos prototipos ya que es más fuerte que el PLA.



Imagen 84: Modelo G6 Pieza Final montado en el techo del Twizy.

La base fue manufacturada en una impresora Ultimaker 2, con filamento de ABS negro. Con espesor de capa 0.15 mm y 30% de relleno interior. La razón de que fuera hecha en esta máquina y no en la uPrint, que tiene mejor calidad, es que también fue necesario poner las tuercas insertas en esta pieza, de la misma

manera que el modelo anterior. El poder hacer el proceso de insertar las tuercas en la uPrint es muy complicado ya que esta máquina no tiene considerada esta acción y su software controlador es cerrado..



Imagen 85: Modelo G6 Pieza Final montado en el techo del Twizy, vista frontal.

La conexión fue manufacturada en una impresora uPrint SE, con filamento de ABS blanco, pintado negro después. Con espesor de capa 0.25 mm y “hueco de alta densidad” de relleno interior.

Para asegurar las piezas de base y conexión al tubo de aluminio y lograr una sola pieza firme, se utilizaron remaches pop, ver imagen 86.



Imagen 86: Uno de los Remaches pop del Modelo G6.

8.2 Prototipado del soporte para sensor LIDAR

El modelo L1 del soporte para sensor LIDAR fue comprado. El primer modelo que se fabricó fue el L2, ver imagen 87.

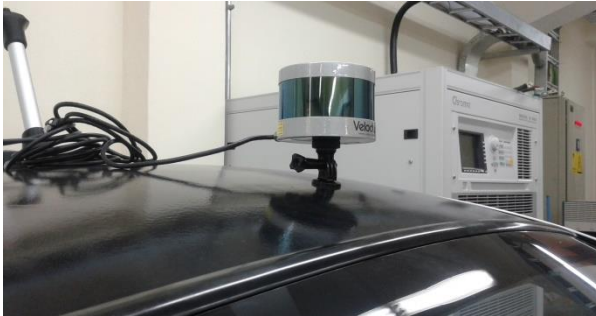


Imagen 87: Modelo L1 montado en el Twizy, sosteniendo al sensor LIDAR.

8.2.1 Modelo L2

El modelo L2 se divide en 5 piezas principales, de las cuales 4 fueron construidas mediante el método de manufactura aditiva. Estas piezas son Base, Tapa deslizable, Espaciador y réplica de soporte, ver imagen 88.

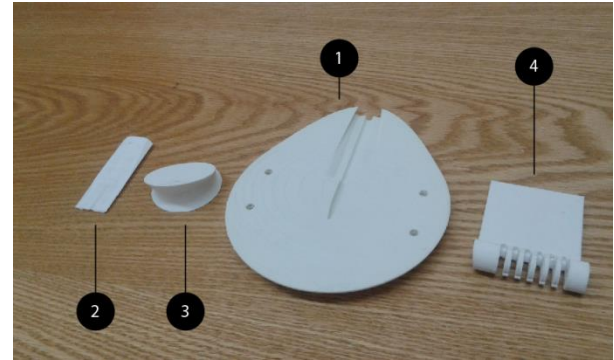


Imagen 88: Piezas del modelo L2, 1) Base, 2) Tapa deslizable, 3) Espaciador y 4) Réplica de soporte.

Todas estas piezas fueron manufacturadas en una impresora Ultimaker 2, con filamento de ABS blanco, con espesor de capa 0.15 mm y 10% de relleno interior, ver imagen 89. El uso de este material se debe a que en ese momento no había otro material disponible en las impresoras 3D de IDP y a que este era solo un prototipo para comprobar la forma, por lo que el color y material no influía mucho en su construcción.

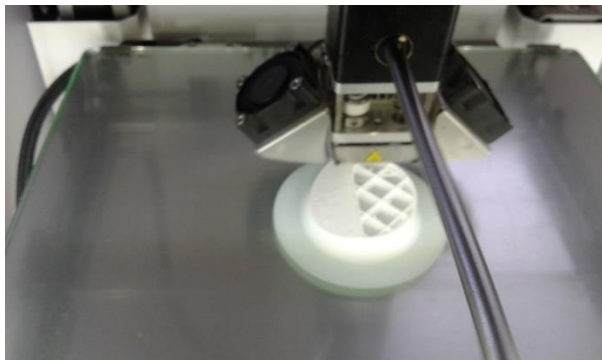


Imagen 89: Construcción de la pieza Espaciador en la Ultimaker 2.

El ensamble de las piezas fue simplemente pegarlas con pegamento instantáneo (cianoacrilato). El calce con la pieza de “Conexión” con el LIDAR fue exitoso, pero la inclinación de la pieza “espaciador” fue demasiada, ver imagen 90.



Imagen 90: Modelo L2 puesto sobre el techo del Twizy, en la posición que debería anclarse.

Este modelo también fue pensado para atornillarse al techo del Twizy, por esto tenía los espacios para dejar tuercas insertas en el modelo. Finalmente las tuercas no fueron insertadas en este prototipo, ya que no estaba planeado montarlo al techo todavía.

8.2.1 soporte del Modelo L3

Antes de fabricar el modelo L3 completo se hizo una prueba de forma de la pieza de soporte. Esto para comprobar que la pieza calzaba con la “conexión” sacada del trípode Soligor WT-3230 sin tener que fabricar el modelo completo, ver imagen 91.



Imagen 91: Soporte del modelo L3 puesto sobre el techo del Twizy, en la posición que debería anclarse.

La pieza fue manufacturada en una impresora Ultimaker 2, con filamento de ABS blanco. Con espesor de capa 0.15 mm y 10% de relleno interior. El uso de este material se debe a que en

ese momento no había otro material disponible en las impresoras 3D de IDP y a que este era solo un prototipo para comprobar la forma.



Imagen 92: Soporte del modelo L3 sosteniendo al sensor LIDAR.

El calce con la otra pieza y la montura del LIDAR fueron satisfactorios, ver imagen 92. De esta manera se decidió fabricar el modelo L3 con calidad de pieza final.

8.2.1 Modelo L3 Pieza Final

El modelo L3 se divide en 4 piezas principales, de las cuales 3 fueron construidas mediante el método de manufactura aditiva, ver imagen 93. Estas piezas son Base, tapa deslizable y soporte.

La base fue manufacturada en una impresora Ultimaker 2, con filamento de PLA negro, ver imagen 94. Con espesor de capa 0.15 mm y 30% de relleno interior. La razón de que fuera hecha en esta máquina y no en la uPrint, que tiene mejor

calidad, es que también fue necesario poner las tuercas insertas en esta pieza. La razón de usar PLA y no ABS para esta pieza es que las pruebas realizadas en ABS negro se deformaban. Debido a la gran superficie de la pieza y a que el ABS se contrae más que el PLA al enfriarse, la pieza se despegaba de la plataforma en los costados haciendo que la pieza se deformara. Hubo un intento de impresión con un pegamento más fuerte en la superficie pero este terminó rompiendo la plataforma de vidrio templado de la impresora 3D.

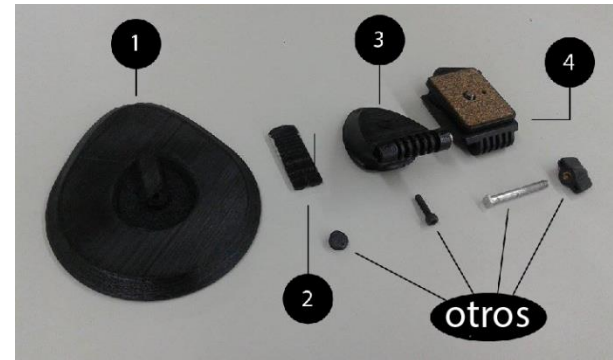


Imagen 93: Piezas del modelo L2, 1) Base, 2) Tapa deslizable, 3) Soporte y 4) Conexión, además de todos sus tornillos tuercas y tapas.

Las piezas Tapa deslizable y soporte fueron manufacturadas en una impresora uPrint SE, con filamento de ABS blanco, con espesor de capa 0.25 mm y 100% de relleno interior. Las piezas fueron pintadas negras posteriormente.

Este modelo también cuenta con dos pequeñas tapas para hechas también en la impresora uPrint con los mismos parámetros de las piezas nombradas anteriormente.

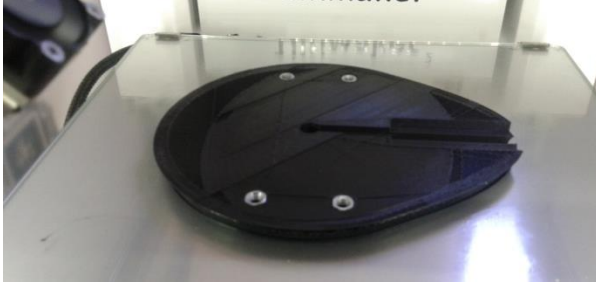


Imagen 94: Construcción de la pieza Base en la Ultimaker 2. Momento en que se insertan las tuercas.

El calce de las piezas Base deslizable y soporte fue hecho con un perno Parker M5 y su respectiva tuerca. La pieza completa y montada se puede ver en la imagen 95.



Imagen 95: Modelo L3 montado sobre el techo del Twizy.

Una vez que el sensor LIDAR está montado en el soporte L3 se puede posicionar con distintas inclinación es como se ve en la imagen 96.

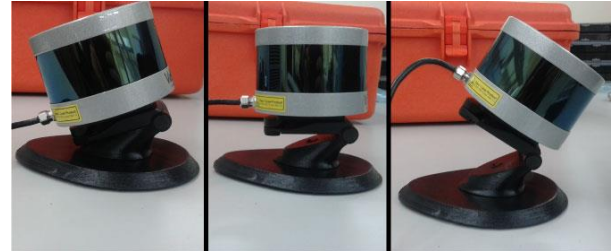


Imagen 96: Ejemplos de las distintas inclinaciones en que se puede posicionar el sensor LIDAR.

8.3 Apoyos internos

Todos los apoyos internos fueron manufacturadas en una impresora uPrint SE, con filamento de ABS blanco, con espesor de capa 0.25 mm y 100% de relleno interior. Estas piezas fueron hechas completamente solidas ya que debían soportar la presión de los pernos que mantienen los soportes en su lugar.

8.3.1 Apoyos G5 y G6

Ya que el apoyo G6 ofrece más área de contacto con el techo en comparación con el apoyo G5, ver imagen 97. Esto hace que la antena (Modelo G6) quede más firme en su lugar.

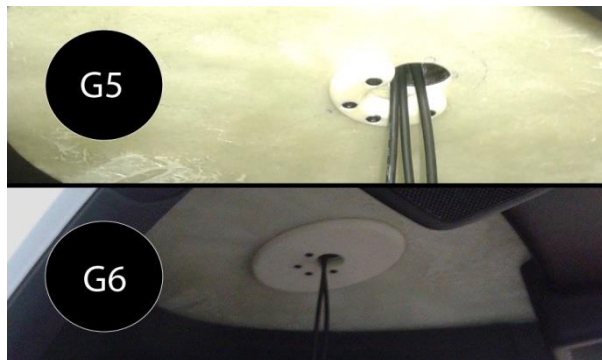


Imagen 97: Arriba el apoyo G5 y abajo el apoyo G6, ambos montados en el techo del Twizy.

8.3.2 Apoyos L1, L2 y L3

El apoyo L1 es muy distinto a las otras 2 variantes debido a que estaba pensado para un soporte distinto. El modelo L2 hubiera calzado perfecto pero hubo un error en el modelo 3D con las medidas de los pernos. Los agujeros se hicieron más grandes de lo que debían y el apoyo L2 no quedaba fijo en su lugar. Finalmente el apoyo L3 solucionó todos los problemas anteriores y se le agregó el logo del centro AC3E como un detalle distintivo para el automóvil. Los apoyos L1, L2 y L3 se pueden apreciar en la imagen 98.

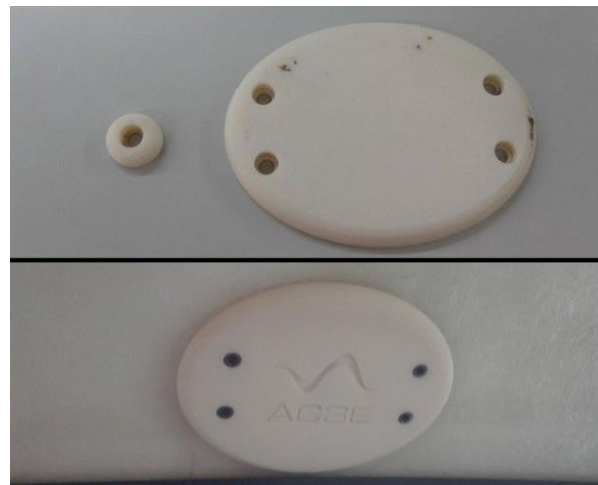


Imagen 98: Arriba a la izquierda el apoyo L1, arriba a la derecha el apoyo L2 y abajo el apoyo L3 montado el techo del Twizy.

8.3 Montado de los sensores

Una vez que los soportes fueron fijados en su lugar, se montaron los sensores para probar el funcionamiento de los prototipos hechos.

8.3.1 Proceso de montaje del LIDAR

El soporte L3 y el sensor LIDAR deben ser montados al mismo tiempo, el proceso es el siguiente:

- 1) Poner el sensor LIDAR con su base mirando hacia arriba, sacar la zapata del soporte L3 y atornillarla en el lidar como se ve en la imagen 99.



Imagen 99: Zapata del soporte L3 atornillada al LIDAR.

2) Posicionar el LIDAR sobre la base y asegurar la zapata usando la palanca de seguridad como se ve en la imagen 100.



Imagen 100: Zapara posicionada sobre la base del soporte L3, a punto de ser asegurada.

3) Girar el soporte dejando su cara inferior mirando hacia arriba, retirar la tapa deslizante y luego pasar el cable del LIDAR por dentro del o'ring como se ve en la Imagen 101.

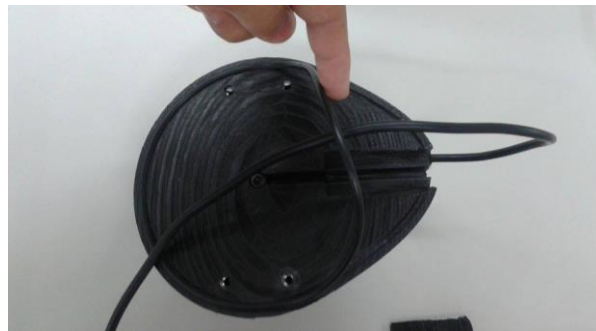


Imagen 101: Cable del LIDAR pasado por el interior del o'ring.

4) Posicionar el cable en su ranura correspondiente, dejando 20 a 25 cm de cable libre entre el LIDAR y el comienzo de la ranura. Luego insertar la tapa deslizante como se ve en la Imagen 102.



Imagen 102: Posición del cable e inserción de la tapa deslizante.

5) Pasar la caja de control del LIDAR a través del agujero del techo del Twizy, desde afuera hacia adentro.

6) Posicionar el soporte L3 sobre el agujero del techo del Twizy, de manera que los 4 agujeros de los pernos sean visibles, ver imagen 103.



Imagen 103: Soporte L3 posicionado sobre el agujero en el techo del Twizy, vista desde el interior del auto.

7) Direccionar el cable hacia el compartimiento trasero del Twizy, pasandolo por el interior de los paneles. Para este trabajo puede ser necesario desmontar los paneles interiores del Twizy.

8) Por la pared interior del auto, posicionar la pieza de apoyo interno L3 en el agujero del techo del Twizy. Asegurarse que el cable entre en la ranura del apoyo L3, dejando a la vista solo un trozo de cable como se ve en la imagen 104.



Imagen 104: Parte visible del cable entre el apoyo L3 y el panel interior del Twizy.

9) Atornillar el apoyo L3 en su lugar usando una llave allen número 4, ver imagen105.



Imagen 105: Apoyo L3 atornillado en su lugar.

10) Darle al LIDAR la inclinación necesaria usando la tuerca de mariposa para ajustar la base en la posición deseada, ver imagen106.



Imagen 106: Sensor LIDAR montado en el techo del Twizy.

8.3.2 Proceso de montaje del GPS

El proceso de montar el GPS se debe realizar una vez que el soporte G6 esté anclado al techo del Twizy. Los pasos a seguir se describen a continuación:

- 1) Tomar el GPS con ambas manos y atornillarlo al soporte, girándolo hasta que casi toque la superficie plana del soporte. Dejar la parte de los 3 conectores mirando hacia atrás del soporte, en una posición similar a la mostrada en la imagen 109.
- 2) Usando una llave allen de 1/2" apretar el tornillo hasta que el GPS quede firme como se ve en la imagen 107.



Imagen 107: GPS (naranja) anclado al soporte G6.

3) Desde el interior del Twizy y uno por uno, insertar los cables del GPS por el agujero del Apoyo G6 (en la imagen 108) hasta que salgan por la parte superior del soporte.



Imagen 108: Cables del GPS pasando al interior del Twizy.

4) Conectar los cables al GPS, como se ve en la imagen 109.



Imagen 109: GPS montado y conectado.

8.3.3 Sensores montados

A continuación en las imágenes 110, 111, 112 y 113 se puede ver los sensores LIDAR y GPS montados en el techo del Twizy.



Imagen 110: Vista lateral derecha de los sensores montados en el Twizy.



Imagen 111: Sensores montados en el Twizy.



Imagen 112: Vista frontal de los sensores montados en el Twizy.



Imagen 113: Vista frontal completa del Twizy con sus sensores montados.

Unidad 04
FINALIZACIÓN DEL TRABAJO
Proyecciones y conclusiones

Capítulo 09
PROYECCIONES

Desafíos que vienen a futuro

9.1 Posibles modificaciones en los modelos de soporte

Las piezas presentadas como modelos finales en este trabajo cumplen su función pero no son perfectas. Siempre se pueden mejorar de alguna manera. A continuación se verán las posibles modificaciones que se pueden hacer a los soportes fabricados.

9.1.1 Modelo G6

El modelo G6 cumple con los requerimientos nombrados en el capítulo 6, pero hay algunos detalles que podrían ser mejorados, como la superficie de las piezas impresas en 3D. En la imagen 114 se puede ver cómo la superficie de las piezas no es completamente lisa y las capas de impresión 3D todavía se pueden ver. Métodos para solucionar esto y dejar una superficie, haciendo que la pieza parezca salida de fábrica junto al Twizy, son:

- Tratamiento mecánico. Al aplicar masilla para automóviles, lijar hasta tener una superficie uniforme y luego pintar a pieza. Este método funciona mejor en superficies planas.

- Tratamiento químico por inmersión directa. Este proceso consiste en sumergir la pieza en un solvente para que la capa externa de la pieza se derrita y luego sacarla rápidamente para que esta misma capa se endurezca de nuevo creando una superficie uniforme. El tiempo que debe pasar la pieza sumergida depende del tamaño y material

de la pieza, además del solvente utilizado, pero no suele superar los 10 segundos. En el caso del ABS se utiliza el solvente Acetona ($\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$) mientras que para PLA se utiliza cloroformo (CHCl_3) (Evans, 2012).

- Tratamiento químico por inmersión en atmósfera de vapor. El principio es el mismo que el anterior pero en vez de sumergir la pieza directamente en el solvente, esta se introduce en una atmósfera cerrada rica en vapor del solvente. La atmósfera se puede conseguir simplemente dejando que el solvente se evapore a temperatura ambiente, ya que la mayoría de estos son muy volátiles. Pero también se puede forzar la evaporación mediante el calentamiento del líquido, consiguiendo así atmósferas más ricas en el solvente y, por tanto, más agresivas, pero aun así mucho menos dañinas para la superficie de la pieza que los procedimientos de inmersión directa (Evans, 2012).



Imagen 114: Detalle de la superficie en las piezas impresas en 3D.

Otra posible modificación al modelo G6 está en la parte superior del soporte por donde salen los cables del GPS. Como se puede ver en la imagen 115 esta abertura está justo debajo de la posición del GPS y además lleva directamente al interior del Twizy. En caso de lluvia el agua podría entrar por este agujero llegando a los circuitos controladores de los sensores. La solución podría ser poner un tapón de goma, quizás impreso en 3D con material flexible, que permita pasar los cables pero impida el paso de agua.



Imagen 115: Vista trasera de la pieza de conexión, modelo 6. Se puede apreciar la abertura por donde pasan los cables del GPS.

9.1.2 Modelo L3

El modelo L3 cumple con los requerimientos nombrados en el capítulo 6, pero hay algunos detalles que podrían ser mejorados, como la superficie de las piezas impresas en 3D. En la imagen 114 se puede ver cómo la superficie de

las piezas no es completamente lisa y las capas de impresión 3D todavía se pueden ver. Métodos para solucionar esto y dejar una superficie uniforme, se vieron anteriormente en el punto 9.1.1.

Otra posible modificación al modelo G6 está en la parte inferior de su base. Esta parte de la pieza tiene la misma curvatura del techo del Twizy, para adaptarse de la mejor manera, pero no tiene ningún tipo de muesca o relieve que encaje en el agujero que hay en el techo para facilitar su montaje. LA solución a esto es poner un sobre relieve con la forma del agujero tal y como tiene el Apoyo L3 y puede verse en la imagen 116.

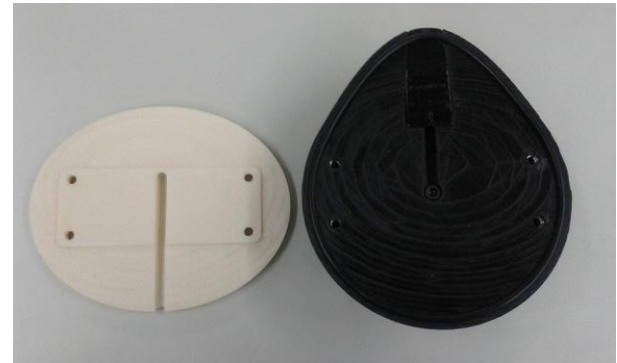


Imagen 116: A la izquierda a parte superior del apoyo L3, a la derecha la parte inferior de la base de Soporte L3.

9.1.3 Apoyo L3

Esta pieza solo presenta un problema y es que no abarca toda la superficie de la base del Modelo L3

para sostenerlo. Tal y como se ve en la Imagen 117 existe un espacio no sostenido por el apoyo L3 que podría ser cubierto si la pieza se alargara un poco hacia arriba.



Imagen 117: Apoyo L3 Sobre la base del Modelo L3.

9.2 Trabajo futuro en el proyecto de automatización de un automóvil comercial en el país

Ya que el trabajo presentado en esta memoria es solo la parte inicial del proyecto de automatización de un automóvil comercial en el país, queda mucho por hacer hasta que el Twizy pueda moverse de manera autónoma. Las tareas más prontas a realizarse por parte del equipo del AC3E son:

9.2.1 Rack contenedor de componentes

Ya que los cables de los sensores se direccionaron hacia la parte trasera del Twizy, espacio que de fábrica está pensado Para ser

usado por un pasajero, se necesita crear un Rack para contener todos los cables, controladores y electrónicas de los sensores y de los futuros sistemas que se implementarán en el Twizy. Este rack debe funcionar como contenedor y organizador del hardware controlador del Twizy, permitiendo un fácil acceso a ellos para poder modificarlos con mayor facilidad.

9.2.2 Actuación de pedales y dirección

Para poder hacer que el Twizy pueda conducirse de manera autónoma, es necesario primero tener control de los pedales de acelerador y freno, además de la dirección de automóvil. El trabajo de actuación de estos elementos implica lograr que los pedales y la dirección del automóvil pase de ser accionados por las manos y pies de un conductor ser controlados por la acción de una computadora.

9.3 Proyección de negocios

Hacer una proyección de negocios no es algo completamente aplicable para este proyecto, ya que el trabajo dentro del centro de investigación AC3E está enfocado en el desarrollo de tecnología y no en la venta de un producto final. Si se quisiera lanzar este proyecto al mercado como un producto, el consumidor final debería ser un investigador que estuviera interesado en la movilidad autónoma de vehículos comerciales y que posea un Renault Twizy para modificar. El nicho de mercado sería muy específico.

10.1 Conclusiones

La tecnología avanza a pasos agigantados con nuevos descubrimientos cada día, adelantos que impulsan nuevas investigaciones para generar más tecnología y nuevos usos de la misma. Por esto el objetivo de un centro de investigación es desarrollar la tecnología existente para llegar a nuevas aplicaciones. Teniendo esto en consideración, trabajar en un centro de investigación es completamente distinto que hacerlo en una empresa que diseña y vende un producto. Mientras que en una empresa tradicional siempre se está pensando en el cliente y en el uso final del producto, en un centro de investigación el desarrollo de un proyecto no siempre está pensando en el uso final. En un centro de investigación no piensa en generar dinero con la comercialización de sus avances, no se piensa en generar un modelo de negocio, la idea es seguir generando conocimiento para agregar valor al área de investigación que se está desarrollando.

En un proyecto multidisciplinario, como lo es la automatización del auto eléctrico, en el que se juntan disciplinas como la ingeniería, electrónica, mecánica y diseño, siempre se tendrá interacción con profesionales de distintas áreas. El poder entenderse mutuamente y crear una comunicación fluida es fundamental para que el desarrollo del proyecto tenga un buen desempeño y sufra las mínimas modificaciones posibles.

También al desarrollar un producto, ya sea para lanzarlo al mercado o para hacer investigación, es necesario seguir una metodología de trabajo. Definir los pasos a seguir de una manera coherente, flexible e iterativa ya que el rediseño siempre será necesario. Primero se deben tener claras las problemáticas y el contexto del proyecto, entender los requerimientos y buscar referentes si es necesario para recién poder comenzar a bosquejar y generar ideas de solución. También algo que fue necesario en este proyecto en particular y que ayudó mucho a ahorrar tiempo y trabajo fueron las modelaciones y ensambles en 3D, que permitieron un análisis y modificaciones más rápidos de los prototipos.

El material y el proceso de fabricación de los prototipos se deben tener en cuenta desde el desarrollo de bosquejos, porque un modelo puede verse bien en el sketch y en el modelo digital, puede funcionar perfectamente en una simulación, pero cuando llega el momento de fabricarlo algunas partes deben ser modificadas porque con el proceso de manufactura no se puede realizar la pieza.

En el caso de este proyecto la manufactura aditiva fue una herramienta que aceleró el proceso de prototipado y permitió fabricar piezas que con mecanizado tradicional hubieran sido muy difíciles o imposibles de fabricar.

Finalmente, trabajar en un proyecto de investigación es distinto a desarrollar un producto para vender en el mercado, pero de igual manera

es necesario rendir al máximo porque el desafío a enfrentar es grande. Se deben proponer ideas, solucionar problemas o desafíos que aparecen a medida que el proyecto se desarrolla. Eso es lo que aporta finalmente experiencia personal y profesional a todos los involucrados en el proyecto.

Trabajos citados

- Agencias AP y ANSA. (11 de Febrero de 2015). *La Nación*. Recuperado el 18 de Marzo de 2016, de La Nación: <http://www.lanacion.com.ar/1767598-gran-bretana-lanza-sus-autos-sin-conductores>
- Autonomou Stuff. (s.f.). *Autonomou Stuff*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de Autonomou Stuff: <http://www.autonomoustuff.com/sms-radar-proximity-warning-system>
- Berlin, T. (2007). *Spirit of Berlin: An Autonomous Car for the DARPA Urban Challenge Hardware and Software Architecture*. Retrieved Jan, 5, 2010.
- Bosredon, M. (10 de Junio de 2015). *20 minutes*. Recuperado el 18 de Marzo de 2016, de 20 minutes: <http://www.20minutes.fr/bordeaux/162827-5-20150610-bordeaux-vehicules-autonomes-integres-circulation-octobre>
- Brindusescu, G. (07 de Julio de 2014). *Autoevolution*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de Autoevolution: <http://www.autoevolution.com/news/renault-twizy-used-as-off-roader-in-brecon-beacons-park-83555.html#>
- Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development*. ICTP.
- Cañas, N. (2014). Controladores multivariables para un vehículo autónomo terrestre: Comparación basada en la fiabilidad del software. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, Vol. 11, 179–190.
- Carreño, E. D., Vacca, E. A., & Lugo, I. (2012). Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar. *Tecnura Vol.16*, 92-107.
- Chantaca, V. (26 de Octubre de 2012). *queautocompro*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de queautocompro: www.queautocompro.com/renault-twizy-ev-modificado-como-vehiculo-para-bomberos
- Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J. (2010). The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. *IEEE Transactions on Power Systems* 25(1), 371-380.
- Coches sin conductor. (15 de Febrero de 2016). *cochesinconductor*. Recuperado el 26 de Abril de 2016, de cochesinconductor: <http://www.cochesinconductor.com/2016/02/euskadi-cuenta-con-su-propio-coche-autonomo/>

- Corriere di Bologna. (2012). *corrieredibologna*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de corrieredibologna: <http://corrieredibologna.corriere.it/fotogallery/2012/6/carabinieri/carabinieri-festa-regionale-201487119022.shtml#1>
- COSTAS, J. (4 de Mayo de 2010). *Motor pasión*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de Motor pasión: <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/coches-electricos-que-son-y-como-funcionan>
- Dawes, M. (13 de Mayo de 2013). *Dailymail*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de Dailymail: www.dailymail.co.uk/sport/formulaone/article-2323767/Sebastian-Vettel-tries-Renault-Twizy-F1-car.html
- Diario El Mundo. (06 de Noviembre de 2009). *El mundo*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de El mundo: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2009/11/06/empresa/1257496180.html>
- Enel S.A. (s.f.). *Endesa educa*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de Endesa educa: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico
- Evans, B. (2012). *Practical 3D printers: The science and art of 3D printing*. Apress.
- Huete, J. (2 de Marzo de 2016). *innovaspain*. Recuperado el 25 de Abril de 2016, de innovaspain: <http://www.innovaspain.com/tecnalia-presenta-el-prototipo-de-vehiculo-autonomo-del-futuro/>
- Isidore, C. (9 de Marzo de 2016). *CNN en español*. Recuperado el 25 de Marzo de 2016, de CNN en español: <http://cnnespanol.cnn.com/2016/03/09/75-de-los-conductores-le-tienen-miedo-a-los-vehiculos-autonomos/>
- Kane, M. (23 de Abril de 2015). *insideevs*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de insideevs: insideevs.com/renault-twizy-cargo-ambulance-unveiled
- Kessler, A. (17 de Mayo de 2015). *La Nación*. Recuperado el 18 de Marzo de 2016, de La Nación: <http://www.lanacion.com.ar/1793153-los-automoviles-sin-chofer-toman-el-control-de-las-calles-y-se-adelantan-a-las-normas-de-transito>
- Magus. (s.f.). *Magus*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de Magus: <http://www.magus.co.kr/>
- Milanés, V., Llorca, D., Vinagre, B., González, C., & Sotelo, M. (2010). Clavileño: Evolution of an Autonomous Car. *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 13th*

- International IEEE Conference* (págs. 1129-1134). IEEE.
- Mutz, F. (2015). Large-scale mapping in complex field scenarios using an autonomous car. *Expert Systems with Applications, Vol. 46*, 439–462.
- National Ocean Service. (s.f.). *National Ocean Service*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de National Ocean Service: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- Navcom. (2015). *Land - Pack*. California: john deere company.
- Nedjah, N. (2014). Customizable hardware design of fuzzy controllers applied to autonomous car driving. *Expert Systems with Applications, Vol.41*, 7046–7060.
- Paromtchik, I., Laugier, C., Gusev, S., & Sekhavat, S. (1998). Motion Control for Autonomous Car Maneuvering. *parking, Vol 22*, A12.
- Pizarro, V. (14 de Diciembre de 2015). *Revista Capital*. Recuperado el 19 de Marzo de 2016, de Revista Capital: <http://www.capital.cl/negocios/2015/12/14/121233-ford-asegura-que-el-40-de-sus-autos-seran-electricos-en-2020>
- Pizarro, V. (29 de Febrero de 2016). *Revista Capital*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de Revista Capital: <http://www.capital.cl/negocios/2016/02/29/060205-en-2022-los-autos-electricos-seran-mas-accesibles-que-los-convencionales>
- Ramírez, J., Gómez, P., Martínez, J., & López, F. (2011). Sistema de navegación autónoma de un vehículo usando visión robótica y control difuso en LabVIEW. *Ingeniería, investigación y tecnología, Vol.12*, 129-136.
- Renault españa. (2011). *Renault*. Recuperado el 18 de Marzo de 2016, de Renault: www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/twizy/twizy/#ofertas_y_servicios
- Reyes, L. (22 de Mayo de 2013). *Automoción*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de Automoción: <http://www.autonocion.com/10-razones-para-comprar-un-vehiculo-100-electrico/#close>
- Reyes, L. (28 de Mayo de 2013). *Automoción*. Recuperado el 22 de Marzo de 2016, de Automoción: <http://www.autonocion.com/10-razones-para-no-comprar-un-vehiculo-100-electrico/#close>
- Richards, D. (2016). To delegate or not to delegate: A review of control frameworks

for autonomous cars. *Applied Ergonomics*, Vol. 53, 383–388.

Schwarz, B. (2010). Mapping the world in 3D. *Nat. Photonics*, 4(7), 429-430.

Stratasys. (s.f.). *stratasys.com*. Recuperado el 02 de Febrero de 2017, de *stratasys.com*: <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/uprint-se>

ULTIMAKER. (s.f.). *ultimaker.com*. Recuperado el 02 de Febrero de 2017, de *ultimaker.com*: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-2-plus>

Velodyne LiDAR Inc. (2016). *user's manual and programming guide VLP-16 Velodyne LIDAR Puck*. California: Velodyne LiDAR Inc.

Zhu, M., & Chen, H. (2015). A model predictive speed tracking control approach for autonomous ground vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*.

ANEXO 1

Vehículos eléctricos disponibles en el mercado al 18/04/16., Precios de moneda extranjera actualizados a pesos chilenos con el precio del 20/04/16.

Modelo	Autonomía [Km]	Velocidad Max. [Km/h]	Aceleración 0-100 [s]	Batería	potencia [CV]	Tiempo carga Convencional [h]	Precio Extranjero	Precio equivalente o chileno	Fuente
Tesla Model S	457	250	3	90 kWh Li-ion	510	5	US\$ 50.000	\$32.982.183	https://www.teslamotors.com/
Tesla Model X	413	250	3,4	90 kWh Li-ion	510	5	US\$ 69.500	\$45.845.234	https://www.teslamotors.com/
Bolloré Bluecar	250	130	16,4	30 kWh	68		€ 12.000	\$8.947.315	http://www.bluecar.fr/
Renault ZOE	240	135	13,5	22 kWh Li-ion	88	9		\$24.990.000	http://www.renault.cl/
BYD e6	204	140	14	48 kWh Li-ion	122			\$5.090.000	http://www.bydauto.cl/
Tazzari Zero	200	100		Li-ion		5	€ 24.500	\$18.267.435	http://www.tazzari-zero.com/
Baic EV160	200			25,6 kWh			US \$ 12.000	\$7.915.723	http://spanish.alibaba.com/products/baic-new-energy-ev160-electric-car-60393739379.html
Renault Fluence Z.E.	185	135	13	22 kWh Li-ion	94	9		\$13.600.000	http://www.renault.cl/
Nissan Leaf	172	145	11,5	30 kWh Li-ion	109	4	€ 33.035	\$24.633.382	http://www.nissan.es/
Renault Kangoo ZE	170	130	20,3	22 kWh Li-ion	60	9		\$24.990.000	http://www.renault.cl/
Nissan e-NV200	170	120	14	24 kWh Li-ion	107	4	€ 15.950	\$11.893.520	http://www.nissan.es/
Mercedes-Benz Clase B Eléctrico	165	160	7,9	36 kWh Li-ion	177	9	€ 43.425	\$32.384.928	http://www.mercedes-benz.es/
Volkswagen e-up!	160	130	11,3	18 kWh Li-ion	82	9	€ 20.000	\$14.915.338	http://www.volkswagen.es/
Kia Soul EV	150	145	11,2	27 kWh Li-ion	110	5	€ 32.790	\$24.451.702	http://www.kia.com/
Smart ED	145	125	11,5	17,6 kWh Li-ion	55	7	US\$ 15.200	\$10.026.583	https://www.smart.com
Fiat 500e	140	137	9	24 kWh Li-ion	111	5	US\$ 31.800	\$20.976.668	http://es.fiatusa.com/
Volkswagen e-Golf	134	140	10,4	24,2 kWh Li-ion	116	13	€ 28.800	\$21.476.335	http://www.volkswagen.es/
Chevrolet Spark EV	132	144	8,5	21,3 kWh	136	7	US\$ 18.495	\$12.200.107	http://es.chevrolet.com/

BMW i3	130	150	7,2	Li-ion 22 kWh Li-ion	170	3 (wallbox)	US\$ 55.000	\$36.280.401	http://www.bmw.com
Rayttle E28 EV	130	80		7,5 kWh Li-ion	10,2	3	25.200 yuanes	\$2.600.000	http://www.carneschina.com/
Ford Focus Electric	122	135	11,4	23 kWh Li-ion	145	3,6	US\$ 29.170	\$19.241.790	http://es.ford.com/
Mitsubishi i MiEV	121	130	15,9	16 kWh Li-ion	63	8	€ 18.900	\$14.093.540	http://www.mitsubishi-motors.es/
Renault Twizy	100	80		6,1 kWh Li-ion	11	3,5	€ 7.220	\$5.383.881	http://www.renault.es/
Citroën Berlingo eléctrico	95	95		22 kWh Li-ion	66	8	€ 29.900	\$22.295.776	http://www.citroen.es/
Voze sôki	60	60		3,8 kWh	10			\$8.000.000	http://www.voze.cl/
mini coche eléctrico	60	40		Plomo-ácido		8	US \$ 3.000	\$1.978.923	http://spanish.alibaba.com/product-gs/mini-electric-car-60368186000.html