



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Sistema de simulación de uso para el vehículo eléctrico
autónomo de recarga inalámbrica desarrollado por LIVE
Proyecto de Graduación para optar por el grado de Bachiller
en Ingeniería en Diseño Industrial

Fiorella Calderón Jiménez
Cartago, II Semestre 2019

Agradecimientos

A Dios, mi mamá y mi papá, por haberme dado la oportunidad de estudiar y hoy, haber llegado hasta acá.

A mis hermanas y amigos, por acompañarme en cada etapa del proceso.

A la Profesora Olga Sánchez, por su asesoría y acompañamiento durante este proyecto.

Al Profesor Sergio Morales, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto para LIVE.

Tabla de contenidos

Resumen	13
Antecedentes	14
Movilidad urbana	14
Tecnologías suplementarias	14
Vehículo Eléctrico	15
Vehículo Autónomo	16
Ciudades Resilientes	16
Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos (LIVE)	17
Investigaciones previas	17
Diseño de un Sistema Embebido para el Control de un Prototipo de Vehículo Autónomo a Escala	17
Implementación de un prototipo a escala de un sistema de recarga inalámbrica para vehículos eléctricos	18
Situación actual	19
Necesidad	20
Problema de diseño	20
Usuarios e involucrados	21
Expectativas de los usuarios	22
Objetivos	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
Alcances y limitaciones	25
Metodología	26
Definición de términos	27

Requerimientos para el sistema	29
Sistema a diseñar	30
Subsistemas	30
Subsistemas primarios (portantes)	31
Estación de simulación	31
Referenciales	
Criterios de verificación	
Modelo a escala	32
Referenciales	
Criterios de verificación	
Subsistemas secundarios (funcionales)	33
Ubicación	33
Referenciales	
Criterios de verificación	
Lectura del entorno	34
Referenciales	
Criterios de verificación	
Subsistemas terciarios (operativos)	35
Acople y acceso	35
Referenciales	
Criterios de verificación	
Comunicación y retroalimentación	36
Referenciales	
Criterios de verificación	
Control	37
Referenciales	
Criterios de verificación	
Alimentación	38
Referenciales	
Criterios de verificación	
Portabilidad y almacenamiento	39
Referenciales	
Criterios de verificación	

Caraterísticas físicas que delimitan el diseño	40
Escala del modelo del vehículo	40
Dimensiones para la estación de simulación	40
Dimensiones de los compartimentos para la circuitería	41
Funciones del sistema	42
Estación de simulación	42
Modelo a escala	43
Concepto de diseño	44
Atributos	45
Posibles escenarios de solución	46
Alternativas de solución exploradas	47
Solución final	51
Presentación del sistema	51
Solución por subsistemas	
Subsistemas primarios (portantes)	
Estación de simulación	
Módulos de ruta	
Presentación	
Características físicas / técnicas	
Módulos dinámicos	
Presentación	
Características físicas / técnicas	
Módulos de escenario	
Presentación	
Características físicas / técnicas	
Cumplimiento de los criterios de verificación	
Modelo a escala	
Presentación	
Características físicas / técnicas	

Cumplimiento de los criterios de verificación

Subsistemas secundarios (funcionales)

Ubicación

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Lectura del entorno

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Subsistemas terciarios (operativos)

Acople y acceso

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Comunicación y retroalimentación

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Control

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Alimentación

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Portabilidad y almacenamiento

Presentación

Características físicas / técnicas

Cumplimiento de los criterios de verificación

Solución para cada función

Guía para la implementación del sistema

Cumplimiento de las expectativas de los usuarios

Conclusiones y recomendaciones _____ ##

Bibliografía _____ ##

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados esperados	22
Tabla 2. Requerimientos para el sistema	29
Tabla 3. Criterios de verificación: Estación de simulación	31
Tabla 4. Criterios de verificación: Modelo a escala	32
Tabla 5. Criterios de verificación: Ubicación	33
Tabla 6. Criterios de verificación: Lectura del Entorno	34
Tabla 7. Criterios de verificación: Acople y acceso	35
Tabla 8. Criterios de verificación: Comunicación y retroalimentación	36
Tabla 9. Criterios de verificación: Control	37
Tabla 10. Criterios de verificación: Alimentación	38
Tabla 11. Criterios de verificación: Portabilidad y almacenamiento	39
Tabla 12. Comparativa de medidas y escala del modelo de referencia	40
Tabla 13. Dimensiones para la estación de simulación	41

Índice de figuras

Figura 1. Costo - beneficio de los vehículos con motor de combustión interna	14
Figura 2. Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por causa de los vehículos eléctricos	15
Figura 3. Logotipo del Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos del Tecnológico de Costa Rica	17
Figura 4. Sistema Embebido para el control de Vehículo Autónomo a Escala por Eduardo Acuña	18
Figura 5. Prototipo a escala de un sistema de recarga inalámbrica por Paola Zamora	18
Figura 6. Storyboard del funcionamiento esperado por los potenciales usuarios del sistema	23
Figura 7. Diagrama de la metodología	26
Figura 8. Diagrama del sistema	30
Figura 9. Referenciales para la estación de simulación	31
Figura 10. Referenciales para el modelo a escala	32
Figura 11. Referenciales para el subsistema de ubicación	33
Figura 12. Referenciales para el subsistema de lectura del entorno	34
Figura 13. Referenciales para el subsistema de acople y acceso	35
Figura 14. Referenciales para el subsistema de comunicación y retroalimentación	36
Figura 15. Referenciales para el subsistema de control	37
Figura 16. Referenciales para el subsistema de alimentación	38
Figura 17. Referenciales para el subsistema de portabilidad y almacenamiento	39

Figura 18. Dimensiones máximas aproximadas de los compartimentos para la circuitería	41
Figura 19. Diagrama de funciones	42
Figura 20. Moodboard del concepto de diseño	44
Figura 21. Atributo de diseño: Dinámico	45
Figura 22. Atributo de diseño: Práctico	45
Figura 23. Posibles escenarios de solución por subsistema	46
Figura 24. Alternativa no. 1 de solución	47
Figura 25. Alternativa no. 2 de solución	48
Figura 26. Propuesta para el modelo del vehículo	48
Figura 27. Alternativa no. 3 de solución	49
Figura 28. Alternativa no. 4 de solución	50
Figura 29. Presentación del sistema	51
Figura 30. Módulos de ruta: recta	52
Figura 31. Dimensiones del módulo de ruta: recta	52
Figura 32. Módulos de ruta: viraje	53
Figura 33. Dimensiones del módulo de ruta: viraje	53
Figura 34. Módulos de ruta: viraje abierto	53
Figura 35. Dimensiones del módulo de ruta: viraje abierto	53
Figura 36. Módulos de ruta: curva	54
Figura 37. Dimensiones del módulo de ruta: curva	54
Figura 38. Módulos de ruta: curva abierta	54
Figura 39. Dimensiones del módulo de ruta: curva abierta	54
Figura 40. Módulos de ruta: diagonal	55
Figura 41. Dimensiones del módulo de ruta: diagonal	55

Figura 42. Módulos de ruta: diagonal abierta	55
Figura 43. Dimensiones del módulo de ruta: diagonal abierta	55
Figura 44. Módulos de ruta: paso elevado	56
Figura 45. Dimensiones del módulo de ruta: paso elevado	56
Figura 46. Módulos de ruta: salida a rotonda	56
Figura 47. Dimensiones del módulo de ruta: salida a rotonda	56
Figura 48. Imanes para acople	57
Figura 49. Canales para el posible paso de cables	57
Figura 50. Exploso de la escritura del módulo dinámico	57
Figura 51. Dimensiones de los módulos dinámicos	58
Figura 52. Módulos dinámicos: señales de tránsito	58
Figura 53. Módulos dinámicos: puntos de ubicación	59
Figura 54. Módulos dinámicos: estaciones de recarga	60
Figura 55. Módulos de escenario	60
Figura 56. Interacción de los módulos dinámicos con el modelo del vehículo	66
Figura 57. Exploso del modelo a escala del vehículo	67
Figura 58. Corte del encaje de la carcasa con el chasis en el modelo del vehículo	67
Figura 59. Soporte para el circuito en el compartimento del modelo a escala del vehículo	68
Figura 60. Acople entre el chasis y carcasa del modelo a escala del vehículo	68
Figura 61. Exploso de la composición del chasis del modelo del vehículo	69
Figura 62. Modelado virtual del modelo a escala del vehículo	69
Figura 63. Subsistema de ubicación por medio de los módulos dinámicos	

Figura 64. Interacción de los puntos de ubicación con el modelo del vehículo	71
Figura 65. Ruta con módulos de punto de partida y llegada	72
Figura 66. Subsistema de lectura del entorno por medio de los módulos dinámicos	73
Figura 67. Retroalimentación sobre el funcionamiento de los circuitos para la lectura del entorno	74
Figura 68. Módulos dinámicos como representación del entorno	74
Figura 69. Variedad de diseños de los módulos de ruta	75
Figura 70. Ejemplo de los magnetos para el acople	76
Figura 71. Módulo de unión y sus dimensiones	76
Figura 72. Acceso a las partes internas de los sistemas	77
Figura 73. Funcionamiento de los acoples	78
Figura 74. Sistema chasis - carcasa del modelo del vehículo	79
Figura 75. Sistema chasis - carcasa del módulo dinámico	79
Figura 76. Demostración del acceso al compartimento del vehículo	80
Figura 77. Acople en el módulo de ruta	80
Figura 78. Vista inferior de la estación de simulación con los módulos de acople	81
Figura 79. Módulos de unión apilados	82
Figura 80. Diagrama de la comunicación y retroalimentación dentro del sistema.	85
Figura 81. Representación de los comandos de navegación actuales	87
Figura 82. Ubicación de las baterías en los subsistemas	89
Figura 83. Subsistema de almacenamiento	89

Resumen

El Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos, conocido por sus siglas como LIVE, es un centro de investigación que pertenece a la Escuela de Ingeniería en Electrónica del Tec y se dedica a la comprensión y exploración de nuevas soluciones para la movilidad urbana sostenible. Entre sus mayores logros está el desarrollo de un posible circuito funcional para un vehículo eléctrico autónomo a escala con capacidad de recarga inalámbrica. El proceso en el que se encuentra este, resalta la necesidad de someterlo a pruebas de uso y función en un ambiente que se aproxime a las situaciones reales que podría enfrentar en una escala natural, pues hasta este momento se ha utilizado un maqueta de papel y un carrito de juguete modificado. Un espacio como este, que facilite que el vehículo se enfrente de manera interactiva a este contexto y entorno, les permitiría demostrar y capacitar de manera más dinámica a las partes interesadas en la investigación.

Este proyecto, resuelve la pregunta de ¿Cómo diseñar un sistema de simulación de uso para el vehículo eléctrico de carga inalámbrica a escala desarrollado por LIVE?. El sistema, dirigido al investigador como usuario principal, debe cumplir una serie de tareas esperadas por este usuario, como demostrar el funcionamiento de los circuitos, probar la autonomía del vehículo, permitir múltiples composiciones del espacio, anticipar la integración, ajuste y recambio de partes, evolucionar en dimensiones y capacidades con el transcurso de las investigaciones, entre algunas otras. Estas expectativas, determinan entonces los objetivos del proyecto que, de manera resumida, consisten en Diseñar un sistema para la simulación de uso del circuito desarrollado por Live donde haya un modelo a escala para representar el vehículo, que integre los circuitos generados por el laboratorio y, además, debe desarrollarse de manera que evolucione con las mejoras resultantes de los procesos de investigación dados en el laboratorio.

Para dar solución al problema, se plantea una metodología por subsistemas donde, dada la cantidad de elementos, se busca resolver cada uno para luego integrarse en un solo sistema. Tras analizar algunos referenciales, los requerimientos para el sistema, criterios técnicos y las funciones que debe cumplir, como resultado se obtiene un sistema práctico y dinámico diseñado bajo el concepto de Adaptabilidad Modular, es decir que tiene la capacidad de adaptarse de manera dinámica a través de sus módulos, partes y componentes. Finalmente se resuelve para la manufactura en impresión 3D, pues al ser para uso específico del laboratorio y esperar que vaya evolucionando con el tiempo, se le entrega entonces a LIVE un modelo virtual para la implementación progresiva de sus partes, según vaya surgiendo la necesidad.

Antecedentes

Movilidad urbana

La movilidad urbana, como concepto, puede entenderse como la dinámica resultante del conjunto de interacciones que ocurren en una ciudad. Esto combina, a través de desplazamientos, a las personas, medios de transporte y el entorno; siendo este último el paisaje que se compone del medio natural y las construcciones y objetos desarrollados por el ser humano para el acomodo de sus necesidades.

El CAF (Banco de Desarrollo para América Latina), en un artículo para su sitio web en agosto del 2013, definió la movilidad urbana como "un factor determinante tanto para la productividad económica de la ciudad como para la calidad de vida de sus ciudadanos y el acceso a servicios básicos de salud y educación".

En el resumen ejecutivo del segundo informe del Observatorio de Movilidad Urbana, se ligan los sistemas de transporte urbano como medio para la inclusión de los ciudadanos, considerando que es necesaria una sinergia entre el transporte, la accesibilidad, la movilidad y la gestión urbana, así como el intercambio de información y la cooperación entre los sistemas de transporte, las ciudades y entes asociados con su uso y gestión, si se quiere lograr el desarrollo urbano. Teniendo así, los medios de transporte, un papel protagonista en la dinámica y desarrollo urbano.

El vehículo con motor de combustión interna es de las principales soluciones para la movilidad de un punto a otro y por alrededor de 250 años, esta tecnología ha venido evolucionando en busca del ajuste perfecto al atareado y cambiante estilo de vida del ser humano.

Sin embargo, es en los tiempos más recientes donde se ha puesto sobre la balanza su beneficio en comparación a su costo económico y ambiental y a su rendimiento en función del tráfico habitual de las ciudades. Por este motivo, se prevé que en los próximos 20 años el vehículo como tal enfrentará una aceleración extraordinaria en su evolución.

Tecnologías suplementarias

Pese a que la urgencia por alcanzar la movilidad sostenible nace a finales del siglo XX, es en estas últimas décadas cuando se ha desatado la concientización sobre la huella de carbono que produce nuestro estilo de vida. Y es aquí, donde vuelven a surgir los medios de transporte como uno de los protagonistas de la transformación que supone esta toma de conciencia.

Son muchas las razones por las que hallar la manera de obtener la sostenibilidad en la movilidad urbana se ha convertido en una prioridad y esto se traduce en el esfuerzo de gobiernos y sectores de



Figura 1. Costo - beneficio de los vehículos con motor de combustión interna

alta influencia en la investigación e industria para lograr el desarrollo de tecnologías suplementarias al mecanismo de combustión tradicional para la movilización a través de vehículos a motor. Esta, puede considerarse una temática ya madura en muchos ámbitos y, aunque queda mucho por avanzar, la aceptación y expectativa de las personas, así como el interés de los gobiernos e instituciones de poder en la innovación e implementación de estas crece a paso veloz.

Así como en cualquier otro intento de cambiar los paradigmas, para encontrar un espacio en la cotidianidad de las ciudades, estas tecnologías deben atravesar una serie de obstáculos, mitos, investigación, experimentación y curvas de aprendizaje. Sin embargo, esto no ha sido un impedimento para que grandes mentes pongan sobre la mesa opciones como el motor de plasma, hidrógeno o eléctrico, siendo este último el más avanzado y que se encuentra ya andando sobre las calles.

Vehículo eléctrico

La tecnología del vehículo eléctrico consiste en la sustitución del motor de combustión interna, es decir, aquel que obtiene energía mecánica para la movilización de sus partes a través de energía química provocada por la quema del combustible en su interior; por un motor eléctrico el cual aprovecha la energía eléctrica almacenada en baterías recargables para generar energía mecánica de rotación por medio de sus bobinas.

En múltiples artículos sobre el potencial de los autos eléctricos para "salvar al mundo", se cita a Raquel Montón, quien es una de las expertas en energía de la organización GreenPeace, cuando expresó que "ya estamos sufriendo las

consecuencias del cambio climático, pero nunca va a ser tarde para actuar. Y tenemos una oportunidad. La buena noticia es que los desarrollos tecnológicos nos están permitiendo ir hacia un sistema eléctrico 100% renovable, y las inversiones en energías limpias se han quintuplicado en todo el mundo" y, es aquí donde esta tecnología alternativa encuentra su lugar en la búsqueda de la movilidad sostenible, "en la medida que podamos abastecer estos transportes con energías limpias, los vehículos eléctricos pueden jugar un importante papel contra el cambio climático", también mencionó Montón.

En el artículo "Coches eléctricos para salvar el planeta", elaborado por Endesa, España; se habla de que cerca de un 25% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero, como lo es el dióxido de carbono, provienen en gran medida del sector Transporte. Se presume que al optar por el vehículo eléctrico, en Estados Unidos, se lograría reducir un 60% del consumo de gasolina y esto se vería reflejado en un 30% menos de emisiones por parte del sector transporte. Y estos números, podrían verse incrementados si se parte de energías renovables para alimentar estos medios de transporte. Estos datos, se obtienen de un estudio realizado por el MIT.

El gran aporte de esta tecnología, se potencializaría si aplicamos estos números, al resto de países. Sin embargo, no se puede ignorar el hecho de que para convencer a las personas de hacer tal cambio, es necesario superar algunos mitos y miedos, como lo es la duración de las baterías. No obstante, se han hecho estudios de que cerca del 90% de los automóviles privados, podrían movilizarse bien con una recarga diaria.

Al tocar y materializar estas ideas, es imposible no meterse en desafíos más grandes y reimaginar la movilidad urbana, en especial, el vehículo como tal ya que algunas mentes importantes están invirtiendo en la exploración de la posibilidad de darle autonomía a estas máquinas.

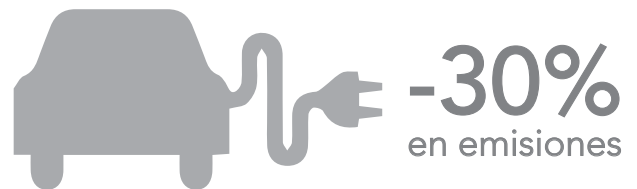


Figura 2. Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por causa de los vehículos eléctricos

Vehículo autónomo

Un vehículo autónomo debe entenderse como uno capaz de percibir el medio que lo rodea e imitar las capacidades humanas de manejo y control. Es decir, se habla de inteligencia artificial que, de uno u otro modo, se enfrentaría en el contexto ideal a las condiciones de tráfico y tránsito a las que estamos habituados.

La tecnología del carro autónomo es un tema que se ha puesto sobre la mesa y se encuentra, en una etapa avanzada de investigación. Esto, a pesar de que no está lista para su incorporación real a la sociedad. Es por eso, que se habla de una revolución en el concepto de la movilidad urbana, pues supone un cambio en nuestro estilo de vida, principalmente en el papel que desempeñamos tanto en el vehículo como en las carreteras.

Esto implica un cambio de paradigmas importante pero también, permite contemplar la posibilidad de acabar con dos de los principales efectos negativos del automóvil actual: la contaminación ambiental y las muertes por accidentes automovilísticos. No obstante, no hay que olvidar, la repercusión que tendría en la legislación y regulación de su uso en las carreteras, esto, claro está, traería desafíos éticos para establecer el uso correcto y dilucidar las responsabilidades en casos de accidente.

El estudio de una tecnología tal y su supuesta implementación real, abre la brecha para contemplar las ciudades inteligentes o resilientes como una necesidad más próxima a lo que se había pensado.

Ciudades resilientes

Esta materia surge en respuesta a la creciente exposición a grandes desafíos que nacen de la urbanización acelerada, el cambio climático, la inestabilidad política, entre otros. Desafíos que se traducen en terremotos, inundaciones, inmigración, ataques informáticos... y pueden ocurrirle a cualquier ciudad y afectan de manera masiva a sus ciudadanos.

Según datos obtenidos por parte de ONU-Hábitat, programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, en este momento, el 50% de la población viven en zonas urbanas y se prevé que para el año 2050 podría aumentar el 70%. El Banco Mundial, expone en su reseña de diciembre del 2017 que "alrededor del 90 % de la expansión urbana tiene lugar en los países en desarrollo, y se espera que otros 2500 millones de personas se trasladen a zonas urbanas en los próximos 25 años." Además, se menciona cómo la mayor concentración de personas y activos aumentan el impacto que los desastres naturales y los efectos del cambio climático y esto se traduce en pérdidas humanas y de recursos.

Esto, justifica la urgencia de "construir nuevas herramientas y planteamientos que den poder a los gobiernos locales y a los ciudadanos, así como que incrementen su capacidad para afrontar nuevos desafíos protegiendo mejor a todas las personas, y a los activos económicos y naturales de nuestros pueblos y ciudades."

Esta necesidad se plantea responder con la creación de ciudades resilientes, entendiéndose el adjetivo como "la habilidad de cualquier sistema urbano de mantener continuidad después de impactos o de catástrofes mientras contribuye positivamente a la adaptación y la transformación.", definición dada por este programa, el cual indica que una ciudad resiliente es aquella que "evalúa, planea y actúa para preparar y responder a todo tipo de obstáculos, ya sean repentinos o lentos de origen, esperados o inesperados."

Estas ciudades, según el artículo "Resiliencia urbana: así serán las ciudades del futuro" de la Revista Circle, escrito por Alejandra Espino, debe cumplir con tres características fundamentales: primero, debe ser persistente, es decir, "se anticipa a los posibles impactos y, por tanto, puede mantener y restablecer los servicios básicos durante y después del fenómeno". Segundo, sabe adaptarse, o sea, sabe aceptar la incertidumbre actual y futura con respuestas dinámicas para resolver y convertir la

situación en oportunidades. Finalmente, debe ser inclusiva, fomentando la cohesión social y la participación integral en los procesos de gobernanza.

Tal propuesta implica un gran desafío para las gestiones de planificación y desarrollo urbano pero también es necesario el avance tecnológico y la disponibilidad de la información. Es ahí, donde se refleja la necesidad de invertir en la investigación y exploración de los recursos que se tienen a la mano y proyectarse a futuro.

Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos (LIVE)

El Laboratorio de Investigación de Vehículos Eléctricos (LIVE) de las Escuela de Ingeniería Electrónica del Tecnológico de Costa Rica, nace como un centro para la investigación de la movilidad sostenible y ha destinado recursos en la exploración de nuevas soluciones para la movilidad urbana en el país y, potencialmente, el resto del mundo.

Además, tiene como tarea propia la investigación, compresión, divulgación y demostración de las tecnologías relacionadas con esta materia, así que, suele participar u organizar ferias, capacitaciones y charlas abiertas al público para cumplir con este propósito. Tareas que son llevadas a cabo por el equipo interdisciplinario voluntario conformado por su director, el Profesor Sergio Morales, así como por estuandiantes y algunos profesores y funcionarios de diversas escuelas del Tec como Electrónica, Diseño Industrial, Mantenimiento Industrial, entre otras.

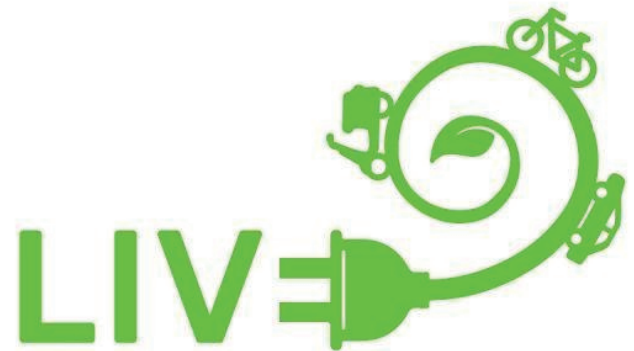


Figura 3. Logotipo del Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos del Tecnológico de Costa Rica

Investigaciones previas

Este proyecto sienta sus raíces en dos investigaciones realizadas por estudiantes de electrónica, voluntarios del laboratorio. Dentro de los alcances de ambas investigaciones se denotan algunos datos que formarán parte del sustento técnico y teórico para el desarrollo del sistema de simulación de uso para el vehículo eléctrico autónomo de recarga inalámbrica a escala.

Diseño de un Sistema Embebido para el Control de un Prototipo de Vehículo Autónomo a Escala.

La primera, titulada "Diseño de un Sistema Embebido para el Control de un Prototipo de Vehículo Autónomo a Escala", elaborada por Eduardo Calvo Acuña; da como resultado la documentación del proceso para la construcción del sistema para operar un vehículo autónomo a escala. En esta, el autor considera que "Mejorar las características de los sistemas actuales de control que se utilizan para los prototipos de vehículos autónomos a escala." es su principal contribución y que esto se podría lograr aumentando la eficiencia de energía y al reducir el área y conexiones requeridas para su funcionamiento. (Figura 4)

En esta, se declara que para la operación de un vehículo autónomo a escala es necesario contemplar tres variables de control: la velocidad de los motores, los parámetros de ubicación y la información percibida por los sensores ultrasónicos. Por otro lado, es importante establecer las capacidades del sistema en términos de comunicación, potencia, ubicación, lenguaje y percepción.

Por otro lado, entre las funciones requeridas para la conducción autónoma se encuentra: la detección de objetos, cálculo del ángulo de rumbo por medio de coordenadas, cálculo del ángulo de encabezamiento (posición del vehículo respecto al norte), cálculo de distancia y cálculo de velocidad. Por último, se propone la utilización del Bluetooth para gestionar el control del prototipo.

Implementación de un prototipo a escala de un sistema de recarga inalámbrica para vehículos eléctricos

La segunda, "Implementación de un prototipo a escala de un sistema de recarga inalámbrica para vehículos eléctricos" por Paola Zamora Alvarado, propone precisamente un método con el cual sería posible la recarga de vehículos por medio del campo magnético, generado por la corriente eléctrica, entre dos bobinas: transmisora y receptora. (Figura 5)

Parte del fundamento teórico consiste en la premisa, relacionada con el trabajo de Nikola Tesla, donde se habla de la existente posibilidad de transferir energía eléctrica de manera inalámbrica por medio del campo magnético que se genera al colocar dos bobinas lo suficientemente cerca. Y la autora defiende el potencial de su propuesta al mencionar que funcionaría al instalar el mecanismo de recarga en zonas demarcadas para que, estacionado, una vez detectado, se haga la transferencia de energía. Esta solución podría aplicarse al transporte público donde "en cada parada podría haber un sistema de alimentación eléctrica inalámbrica activada mientras se carga y descarga el autobús." Además, propone que "se puede planear a largo plazo la instalación de este tipo de sistemas en las carreteras de tal manera que al pasar sobre ellas, este tipo de vehículos se alimentarían en movimiento brindando una verdadera autonomía."

Finalmente, otro punto que demuestra el alcance de este proyecto se describe cuando menciona que "se piensa en vehículos eléctricos autónomos que tengan en sus programas los puntos de carga más cercanos a ellos y reprogramarse para su abastecimiento y continuar con su ruta preestablecida." Como parte de la comprobación de su propuesta, implementó el sistema en un carro a escala controlado por bluetooth y una maqueta construida en papel de lo que sería la calle donde se ubicaría el transmisor.

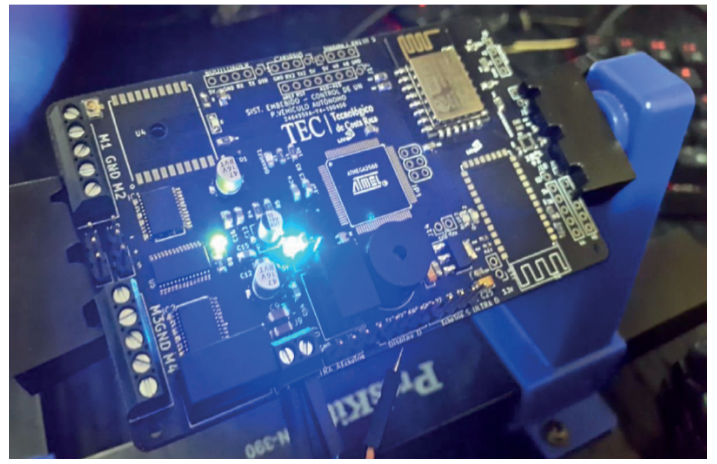


Figura 4. Sistema Embebido para el Control de Vehículo Autónomo a Escala por Eduardo Acuña

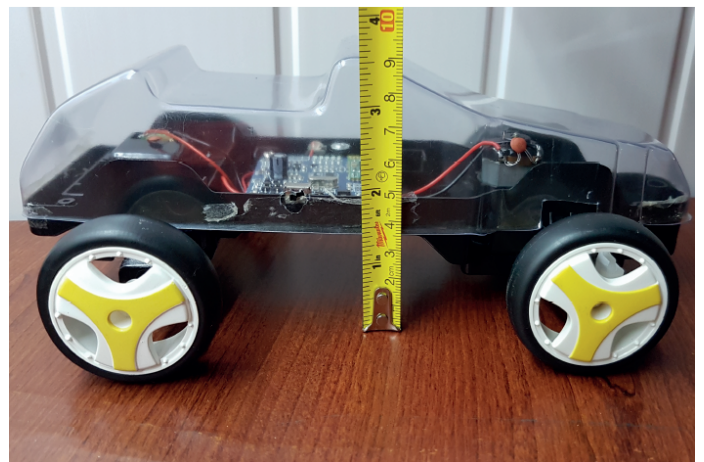


Figura 5. Prototipo a escala de un sistema de recarga inalámbrica por Paola Zamora

Situación actual

En resumen, uno de los logros más importantes de LIVE, es el desarrollo de un circuito electrónico funcional para un vehículo eléctrico autónomo a escala de carga inalámbrica. Este se encuentra en un estado de investigación por lo que es necesario ahora, someterlo a pruebas de uso y función en un contexto aproximado al real. Por el momento, los encargados de este proyecto han utilizado una maqueta de papel y un carrito de juguete modificado para tratar de imitar estas condiciones, sin embargo con el paso del tiempo se ha denotado una necesidad por un espacio que sea capaz de simular las distintas condiciones a las que se enfrentarían de una forma más real e interactiva, lo cuál les permitiría una obtención de resultados más provechosa al tener una herramienta que demuestre y capacite a otras partes interesadas en el proyecto.

Es así como surge la iniciativa de contar con un ambiente de simulación donde sea posible la implementación de estas dos propuestas en un mismo sistema. Pues, sería de gran provecho realizar pruebas y ejercicios a este para así perfeccionar y demostrar su funcionamiento. Sin embargo, es deseable para LIVE que este simulador sea capaz de evolucionar con el tiempo pues al trabajarse en múltiples investigaciones podría ser de gran valor para el avance de ellas.

Necesidad

El Laboratorio centra gran parte de su esfuerzo en la investigación de vehículos eléctricos y su aporte a la movilidad urbana sostenible. Como resultado de este esfuerzo, se obtiene una gama de circuitos electrónicos que permiten el desplazamiento autónomo de vehículos eléctricos de carga inalámbrica. Sin embargo, estos circuitos requieren de un proceso de validación y demostración de funcionamiento que de pie al perfeccionamiento del producto final.

Además, al ser este Laboratorio parte del Tecnológico de Costa Rica es necesario que cumpla con aspectos de formación y extensión en conjunto con su labor de investigación según lo establece la política institucional. De manera que, una correcta demostración y visualización de su funcionamiento, a través de un sistema práctico y dinámico, facilita la capacitación de personas en la materia y la divulgación de resultados a aquellas partes interesadas que no se encuentren familiarizadas con los aspectos técnicos específicos de un proyecto de esta naturaleza.

De esta manera se denota la necesidad de someter a pruebas el circuito para el desplazamiento autónomo de vehículos eléctricos de carga inalámbrica bajo condiciones similares al contexto de uso, facilitando la demostración y comprensión de su funcionamiento.

Problema de diseño

¿Cómo diseñar un sistema de simulación de uso para el vehículo eléctrico autónomo de carga inalámbrica a escala desarrollado por el LIVE?

Usuarios e involucrados

Como **usuario** se tiene al investigador, principalmente estudiantes avanzados de ingeniería, que manejan las investigaciones directamente.

Entre sus tareas se encuentra:

- Desarrollar el proceso de investigación.
- Construir prototipos y modelos para verificar.
- Aplicar pruebas sobre los prototipos y modelos.
- Implementar los ajustes necesarios para el perfeccionamiento del sistema.
- Divulgar y demostrar los resultados.
- Capacitar a los involucrados.

Sus principales intereses respecto al sistema son:

- Contar con una plataforma que facilite los procesos de prueba y ajuste naturales en las investigaciones.
- Poder demostrar de manera dinámica e intuitiva el funcionamiento del sistema en desarrollo.









Existen otros **involucrados** que, ocasionalmente, podrían cumplir con el rol de usuarios:

- LIVE cuenta también con un equipo voluntario interdisciplinario que tiene como tarea principal el asistir en las investigaciones en desarrollo así como participar de procesos de divulgación y capacitación como charlas y talleres.
- El director del laboratorio, Sergio Morales, tiene una importante *participación en los procesos de desarrollo de estas investigaciones, así como también otros docentes.*
- *Además muchas de las investigaciones actuales dan pie a otras a mayor plazo.*

Expectativas de los usuarios

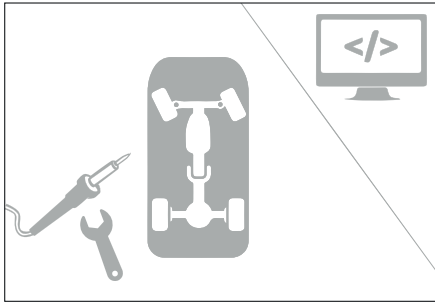
En el ejercicio de indagar las expectativas de los usuarios con respecto al sistema, se obtienen en dos áreas: los resultados esperados (Tabla 1), siendo estos características o propiedades que debería portar el sistema según los potenciales usuarios; y el funcionamiento esperado (Figura 6), o sea, las tareas y actividades que se pretende poder hacer en el sistema y con las que se demostrarían los resultados descritos anteriormente.

Tabla 1. Resultados esperados

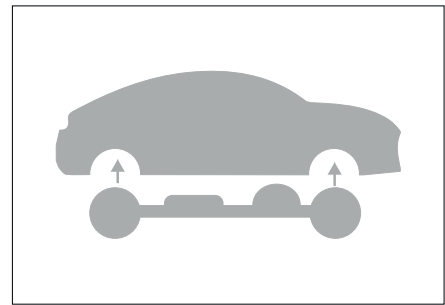
Simbología	Resultado	Simbología	Resultado
	Demostrar el funcionamiento de los circuitos desarrollados por el laboratorio.		Anticipar la integración, ajuste y recambio de componentes electrónicos.
	Probar la autonomía del vehículo a partir del nivel 3, es decir, la ubicación y lectura del entorno.		Brindar la posibilidad de evolucionar en dimensiones y capacidades según el avance de las investigaciones del laboratorio.
	Posibilitar la visualización y acceso a la circuitería interna de los sistemas para efectos de demostraciones.		Permitir múltiples composiciones del espacio con el fin de facilitar distintas aplicaciones de uso.
	Proporcionar una acople sencillo entre las partes y componentes del sistema.		Facilitar la portabilidad y almacenamiento del sistema.

La simbología utilizada en la tabla anterior, representa cada resultado esperado. Estos pictogramas, se retoman en la figura 6, para reflejar en el funcionamiento que visualizan los usuarios, el cumplimiento de estos resultados.

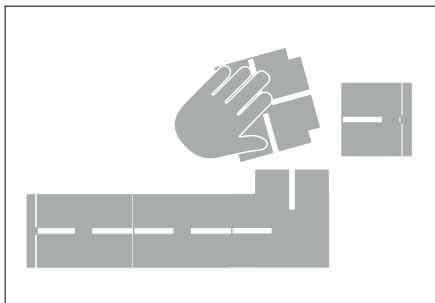




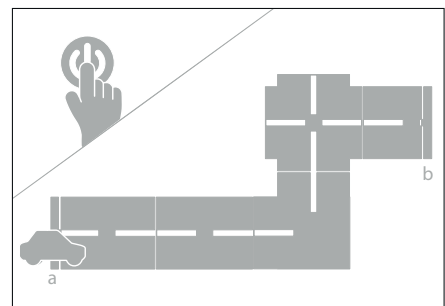
1. Se incorporan, ajustan y/o cambian los componentes del vehículo



2. Se acopla la carcasa al chasis del vehículo



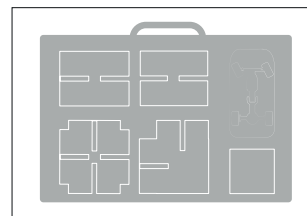
3. Se configura la estación según sea la necesidad



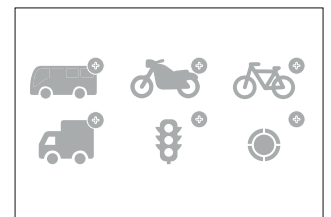
4. Se indica el punto de partida y llegada y se inicia el vehículo.



5. El sistema va comunicando el comportamiento del vehículo.



Se almacena el sistema para su portabilidad.



Se agregan módulos al sistema que respondan a las nuevas necesidades.

Figura 6. Storyboard del funcionamiento esperado por los potenciales usuarios del sistema

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema para la simulación de uso del circuito para un vehículo eléctrico autónomo de recarga inalámbrica a escala desarrollado por el Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos (LIVE).

Objetivos específicos

1. Diseñar un modelo a escala para la representación del vehículo autónomo de recarga inalámbrica dentro del sistema.
2. Integrar el circuito desarrollado para el funcionamiento del vehículo con el modelo a escala.
3. Desarrollar la estación de simulación de manera que evolucione con las mejoras resultantes de los procesos de investigación dados en el laboratorio

Alcances

Dentro del alcance proyectado para esta investigación se establece: diseñar el sistema como modelo virtual, elaborar una maqueta funcional que permita demostrar las soluciones del diseño, realizar la verificación del sistema por medio de las expectativas de los usuarios, documentación escrita del proceso proyectual con una guía de implementación del sistema para facilidad de uso del Laboratorio.

Limitaciones

Como factores limitantes para la ejecución de este proyecto, se tiene que el periodo efectivo para la realización del proyecto es de cuatro meses, por lo que algunas de las necesidades expresadas por el laboratorio u otras halladas en el desarrollo de este, se plantearán de manera teórica como funciones secundarias, dejando su implementación para una segunda etapa, posterior a la culminación de este proyecto. Además, el proyecto requiere de conocimiento técnico en algunos temas de electrónica y programación, y aún cuando el laboratorio puso a disposición asesoría y equipo para este proyecto, se prevé que será necesario dejar algunas implementaciones de la propuesta para una etapa posterior con mayor intervención de personas especializados en estas.

Metodología

El proceso proyectual se dividió en cuatro etapas principales que se explican a detalle en el diagrama siguiente (Figura 7). Cabe mencionar que el enfoque para la definición de esta metodología fue el diseño por subsistemas, esto, debido a la complejidad del sistema.

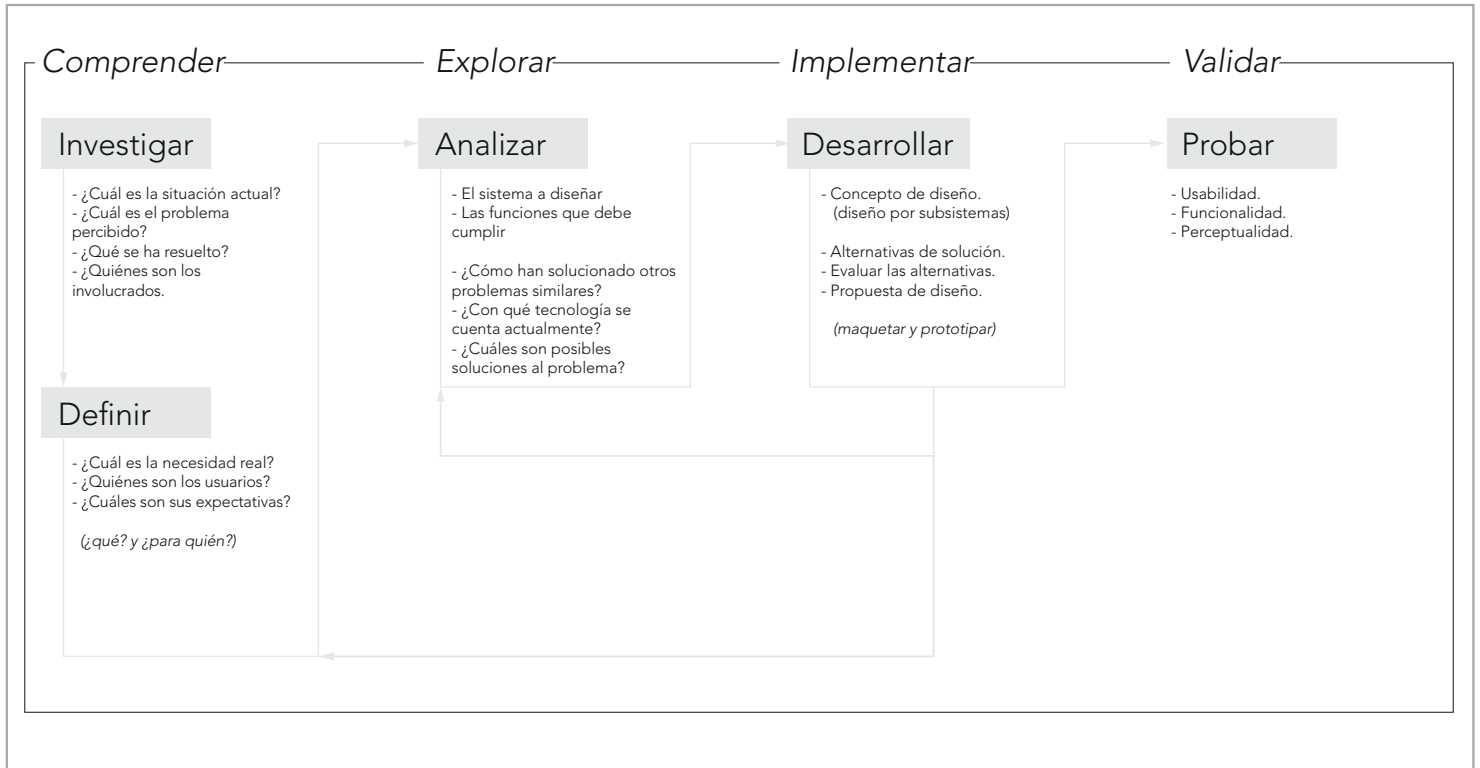


Figura 7. Diagrama de la metodología

Definición de términos

Se presentan algunas definiciones para una mejor comprensión de los términos utilizados a lo largo de este proyecto.

Vehículo autónomo:

Medio de transporte capaz de percibir el entorno y desplazarse imitando las capacidades de manejo y control.

Niveles de automatización:

Se refiere a las distintas capacidades de independencia del rol del conductor que tiene un vehículo.

Nivel 0: el conductor (humano) es el responsable y tiene el dominio absoluto del manejo y control del vehículo.

Nivel 1: existen funciones secundarias con características de autonomía, sin embargo, lo que respecta a la conducción se mantiene en manos del ser humano.

Nivel 2: se considera una autonomía parcial, donde el vehículo es capaz de replicar tareas ordenadas por el conductor.

Nivel 3: El vehículo es capaz de analizar el entorno y tiene la autonomía para tomar decisiones y actuar cuando al conductor no le da tiempo de reaccionar ante una situación dada.

Nivel 4: El rol del conductor como tal se vuelve prescindible, sin embargo el diseño del vehículo, estructura y componentes, se mantienen según lo convencional.

Nivel 5: En este nivel desaparece el rol del conductor así como la presencia del volante y los pedales. Se controla el destino del vehículo por medio de voz o algún otro dispositivo.

Carga inalámbrica:

Transmisión de energía eléctrica sin el uso de cables conductores.

Circuito (electrónico):

Sistema que por medio de la transmisión de energía utiliza componentes para realizar funciones más complejas.

Componente (electrónico):

Dispositivo diseñado para cumplir una tarea específica que interconectado a otros componentes es capaz de realizar funciones más grandes.

Modelo a escala:

Representación de un objeto real que difiere en tamaño, pero no necesariamente en forma o función.

Parte:

Elemento que junto con otros integra un todo mayor.

Simulador:

Dispositivo o aparato que simula un fenómeno, el funcionamiento real de otro aparato o dispositivo o las condiciones de entorno a las que están sometidos una máquina, aparato o material.

Sistema:

Módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí.

Requerimientos para el sistema

Primeramente, es necesario definir los requerimientos (Tablas 2) que debe satisfacer el diseño del sistema. Estos, nacen de las expectativas de los usuarios, descritas anteriormente. Además, habiendo seleccionado una metodología de diseño por subsistemas, se utilizarán estos requerimientos como criterios de verificación adaptados para cada subsistema.

Tabla 2. Requerimientos para el sistema

Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	Permite múltiples composiciones en el espacio.
Posibilita la visualización de la circuitería interna.	Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.
Brinda un acceso simple a la circuitería interna del sistema.	Facilita la interacción y manejo de las partes del sistema por parte del usuario.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	Contempla la portabilidad del sistema.
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	Provee una solución de almacenamiento sencilla e intuitiva.

Sistema a diseñar

El proyecto a nivel de diseño consiste en desarrollar un sistema compuesto por el modelo a escala del vehículo más la estación de simulación. Para esto, se plantea el diseño por subsistemas como metodología, por esta razón se busca estructurar el proyecto por medio de este diagrama del sistema (Figura 8).

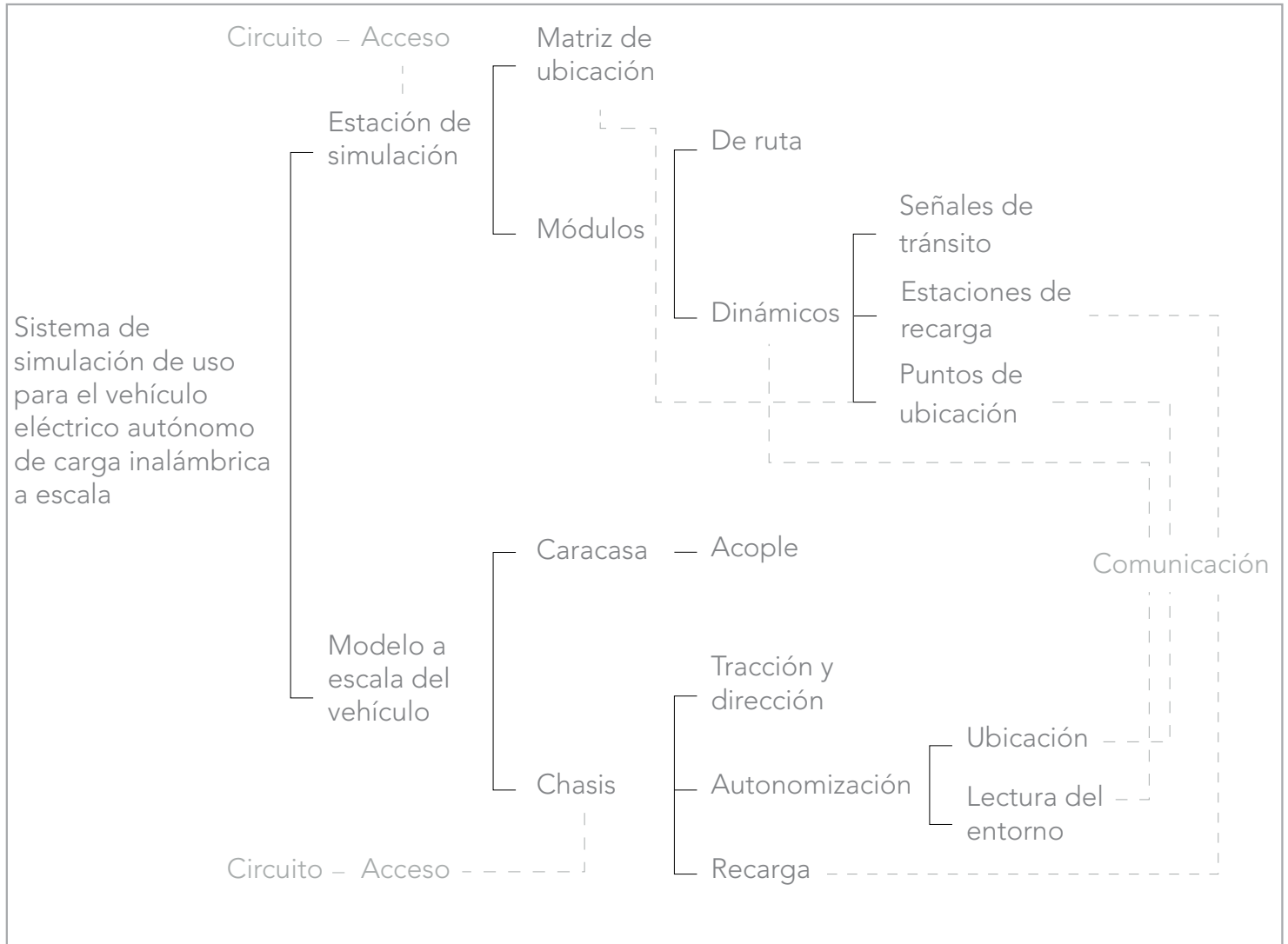


Figura 8. Diagrama del sistema

Subsistemas

Se destacan tres niveles en la categorización de los subsistemas: primarios, son los que portan las partes y componentes de los otros subsistemas; secundarios, son los que responden a las funciones principales del sistema; terciarios, responden a las tareas de operación del sistema.

De esta manera, se definen así:

Subsistemas primarios (portantes)

- Estación de simulación:

Comprende el sistema modular, que está conformado por los módulos de ruta y los módulos dinámicos.

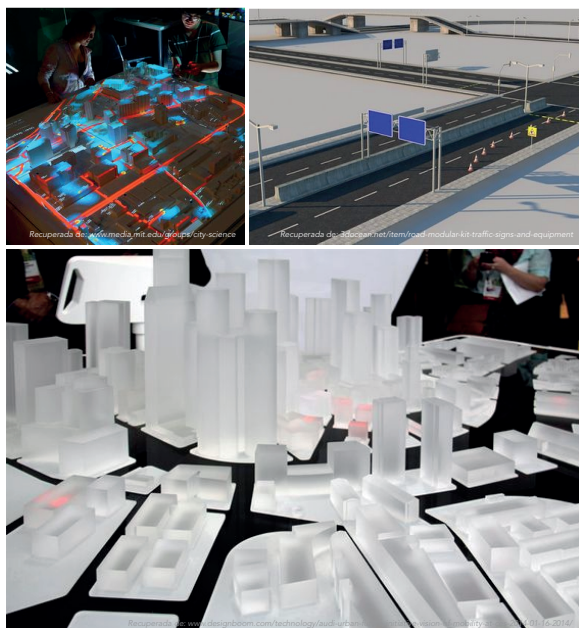


Figura 9. Referenciales para la estación de simulación

Referenciales:

Como se puede observar en la figura 9, predominan las figuras geométricas, sencillas, prácticas, representaciones simplificadas y abstracciones de las componentes de una ciudad.

Este subsistema significa el principal medio de comunicación del funcionamiento de los circuitos construidos por el Laboratorio. Por esta razón, su diseño debe ser práctico y funcional, y, principalmente, no obstruir (visualmente) en la interacción del investigador, usuario principal, y otros involucrados, para los procesos de investigación.

Criterios de verificación:

Como se explicaba anteriormente, este proyecto se va a abarcar con un diseño por subsistemas. Entonces, los requerimientos descritos anteriormente (Tabla 2), se ven adaptados para la estación de simulación, se puede ver en la Tabla 3, junto con la característica o parámetro que se evalúa en este subsistema.

Tabla 3. Criterios de verificación: estación de simulación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	La estación de simulación comunica el funcionamiento del vehículo.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El sistema funciona de manera eficiente en por lo menos 2 tipos de superficie.
Permite múltiples composiciones en el espacio.	La reconfiguración del espacio es factible de una manera rápida e intuitiva.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Está preparado para la incorporación de nuevos módulos y el proceso constructivo de los módulos es trazable.
Contempla la portabilidad del sistema.	El sistema es almacenable, tiene un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

- Modelo a escala:

Consiste en el sistema chasis-carcasa, que portan el circuito funcional del vehículo.



Referenciales:

En la figura 10, se puede observar la composición del modelo de manera modular, donde una parte es el chasis, portante de toda la circuitería interna y la otra, es la carcasa, que completa la figura simplificada del vehículo y, a la vez, protege su contenido.

En el sistema a diseñar, es sumamente importante considerar la importancia de que este modelo sea un comunicador de su funcionamiento, por lo cual se puede prescindir de algunos detalles y rasgos que vendrían a saturar la imagen, resultando entonces en una forma simplificada y ligera.

Figura 10. Referenciales para el modelo a escala

Criterios de verificación:

En la siguiente tabla (Tabla 4), se describen los parámetros de verificación en los que se aplican los requerimientos del sistema (Tabla 2), a este subsistema.

Tabla 4. Criterios de verificación: modelo a escala

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El modelo responde a las características autónomas del circuito e interactúa con su entorno (estación de simulación).
Posibilita la visualización de la circuitería interna.	Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico
Brinda un acceso simple a la circuitería interna del sistema	Brinda suficiente información sobre el uso correcto de estos accesos y no requiere más de una herramienta.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El diseño puede readaptarse a otras representaciones o funciones fácilmente..
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	La construcción del modelo prevé la posibilidad de transformarse o evolucionar en futuras etapas..
Contempla la portabilidad del sistema.	Es almacenable, tiene un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

Subsistemas secundarios (funcionales)

- Ubicación:

Lo conforma la matriz de ubicación, generada por el sistema modular, y las capacidades propias del vehículo, a nivel electrónico, para ubicarse en el espacio.

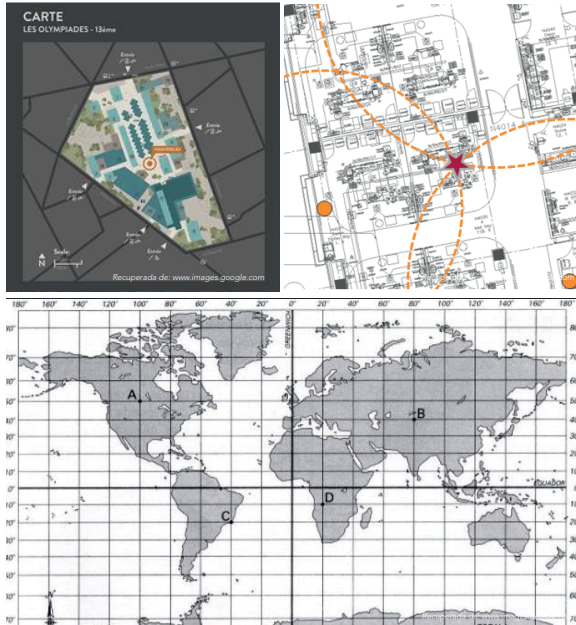


Figura 11. Referenciales para el subsistema de ubicación

Criterios de verificación:

A continuación, se exponen los criterios de verificación específico para el subsistema de ubicación (Tabla 5), junto con las características o parámetros de medición de estos.

Tabla 5. Criterios de verificación: ubicación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos..
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema demuestra la interpretación del espacio y la ruta con las marcas de salida y llegada que hace el vehículo.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso..	La matriz de ubicación es adaptable a los distintos escenarios en los que debe desenvolverse el vehículo.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades..	La matriz de ubicación permite la adaptación de nuevos módulos o partes..

- Lectura del entorno:

El conjunto de los módulos dinámicos en interacción con las capacidades autónomas del vehículo, a nivel de programación, para leer el entorno.



Referenciales:

Estos módulos son los principales participantes de la conversación e interacción con el modelo a escala. Por esta razón es vital que comuniquen su funcionamiento. En los referenciales (figura 12) se puede ver cómo la luz y el color son frecuentemente utilizados como comunicadores.

Por otro lado, el tamaño tiene un papel importante pues son los que mayor interacción tendrán con el usuario, a parte del modelo del vehículo. Por este motivo, sus capacidad de agarre y manipulación son muy importantes.

Figura 12. Referenciales para el subsistema de lectura del entorno

Criterios de verificación:

El subsistema de lectura del entorno será evaluado en los criterios, características y parámetros descritos en la siguiente tabla. (Tabla 6).

Tabla 6. Criterios de verificación: lectura del entorno

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos.
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema demuestra la lectura del entorno y lo refleja en el comportamiento del vehículo.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso..	Los módulos dinámicos dan la facilidad de adaptarse según la necesidad del usuario para aplicar al vehículo.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades..	Los módulos dinámicos son escalables y su proceso de manufactura es trazable.

Subsistemas terciarios (operativos)

- Acople y acceso:

Lo forma todos aquellos mecanismos que proporcionan la capacidad de interacción y manipulación del usuario con las partes y componentes internos.

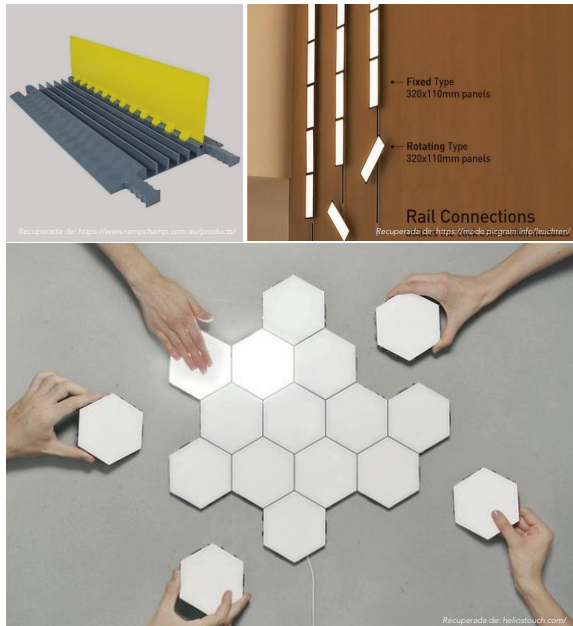


Figura 13. Referenciales para el subsistema de acople y acceso

Criterios de verificación:

En este subsistema se evalúan dos rasgos que tienen gran relación entre sí, el acceso y el acople. Los criterios en los que se verificará el cumplimiento de los requerimientos descritos en la Tabla 2, se pueden observar en la siguiente (Tabla 7).

Tabla 7. Criterios de verificación: acople y acceso

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	Se le da acceso al usuario para verificar conexiones y el estado de los componentes internos.
Posibilita la visualización de la circuitería interna.	Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico
Brinda un acceso simple a la circuitería interna del sistema.	Brinda suficiente información sobre el uso correcto de estos accesos y no requiere más de una herramienta.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los accesos y acoples existentes no se verían obstaculizados por la incorporación de nuevas partes.
Contempla la portabilidad del sistema.	Los acoples y uniones del sistema facilitan la adaptación del sistema al proceso de almacenamiento y portabilidad.

Referenciales:

Entre lo existente, se pueden ver acoples del tipo forma - contra forma, snap fit, joint system, rieles, magnéticos... adaptados a medios de acceso como compuertas, gavetas, compartimentos...

En el sistema, es sumamente importante considerar el fácil acceso a la circuitería interna, así como el ordenamiento de los componentes y partes. Por este motivo, el método de acople entre las partes debe utilizarse como una herramienta para facilitar este acceso.

- Comunicación y retroalimentación:

Todo aquello que permita la interacción entre los dispositivos, partes y componentes del sistema y la correcta lectura de la información que estos proporcionen al usuario.



Figura 14. Referenciales para el subsistema de comunicación y retroalimentación

Referenciales:

Para la comunicación entre las partes del sistema, existen múltiples alternativas, radio frecuencia, bluetooth, conexiones, microprocesadores... esta depende mucho de lo establecido ya en los circuitos definidos por el Laboratorio.

En cuanto a la retroalimentación, es esa traducción de la comunicación entre las partes en un lenguaje de fácil interpretación para el usuario. Entre los sistemas existentes se usa frecuentemente la luz acompañada por el color y el sonido para manifestar funcionamiento y las cámaras y pantallas para demostrar e interpretar esta información.

Criterios de verificación:

En cuanto a la comunicación, se refiere a el flujo de información que transita entre las partes del sistema y la retroalimentación, es aquella información perceptible por el usuario, en esta última. Estas capacidades se evalúan según los rubros descritos en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios de verificación: comunicación y retroalimentación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos..
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema comunica la interpretación y lectura que hace el vehículo y cómo debería actuar en consecuencia.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio (ruido, iluminación, recursos...)
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los mecanismos de comunicación entre dispositivos están preparados para adecuarse a nuevas partes y componentes.
Facilita la interacción y manejo de las partes del sistema por parte del usuario.	La información que brinda es de fácil lectura y permite al usuario actuar en consecuencia con naturalidad.
Contempla la portabilidad del sistema.	Las conexiones y dispositivos son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

- Control:

Aquellos dispositivos y funciones que le permitan al usuario ejercer el manejo y operación del sistema.



Referenciales:

En la actualidad, existen muchas opciones en cuanto a métodos de control para dispositivos, desde el tradicional control remoto por radio frecuencia, hasta bluetooth, pantallas táctiles, sensores de gestos y comando por voz.

En el sistema, es necesario contemplar el control del vehículo como un subsistema, pues hay que recordad que se busca funcionar en los distintos niveles de autonomía. Por otro lado, se pretende reducir la cantidad de información y acciones que tenga que realizar el usuario para el funcionamiento del sistema, por lo que simplificar la cantidad de dispositivos y puntos focales es un criterio a tomar en consideración.

Figura 15. Referenciales para el subsistema de control

Criterios de verificación:

Como se dijo anteriormente, la capacidad de manejo que tenga el usuario sobre el sistema es un criterio muy importante para facilitarle el trabajo en la investigación. Los criterios a tomar en cuenta para el cumplimiento de los requerimientos, se explica a continuación.

Tabla 9. Criterios de verificación: control

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio (ruido, iluminación, recursos...)
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	La programación a nivel de control del sistema queda preparada para la incorporación de nuevas partes.
Facilita la interacción y manejo de las partes del sistema por parte del usuario..	Los comandos para la operación del sistema son accesibles para el usuario de forma natural y intuitiva.
Contempla la portabilidad del sistema.	Los dispositivos de control son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

- Alimentación:

Mecanismo que provee el recurso eléctrico para el funcionamiento del sistema.



Figura 16. Referenciales para el subsistema de alimentación

Referenciales:

La alimentación puede proveerse por medio de energía eléctrica ya sea por medio de cables y enchufes o por medio de una batería.

La parte importante para tomar en el diseño es la transferencia de esta energía a todas las partes. En este sentido, es la batería la que da mayor autonomía a cada parte a nivel energético. Sin embargo no se descarta la posibilidad de usar canales y cables o, hasta, pintura conductiva.

Criterios de verificación:

La alimentación del sistema tiene mucha influencia en las posibilidades de uso, entorno y transporte, por este motivo se aplicará los siguientes criterios de verificación para su diseño (Tabla 10).

Tabla 10. Criterios de verificación: alimentación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Evita las conexiones permanentes que puedan limitar los escenarios de uso.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los dispositivos utilizados para la alimentación del sistema se pueden adaptar o cambiar según la necesidad de este.
Contempla la portabilidad del sistema.	Las conexiones son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

- Portabilidad y almacenamiento:

Sistema para proteger y trasladar el sistema.



Referenciales:

Los empaques y almacenamientos transformables son el principal punto de referencia, pues es importante considerar las amplias posibilidades de uso que debería contemplar el sistema. Y es necesario, que este sea adaptable, ya que no para todas las pruebas son necesarias todas las piezas.

Además, los investigadores en el laboratorio participan constantemente de ferias, capacitaciones y demostraciones. Por este motivo, hay que considerar la durabilidad y peso del material.

Figura 17. Referenciales para el subsistema de portabilidad y almacenamiento

Criterios de verificación:

La capacidad de portabilidad y almacenamiento del sistema es de gran importancia para LIVE, ya que en los procesos de investigación y demostración puede variar el entorno de uso. Los criterios para hallar el mecanismo de almacenamiento que cumpla de la mejor manera los requerimientos expuestos, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Criterios de verificación: portabilidad y almacenamiento

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El mecanismo de almacenamiento es adaptable a la necesidad de uso del usuario.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	El diseño del almacenamiento se puede ajustar o modificar para aumentar o disminuir su capacidad.
Contempla la portabilidad del sistema.	El sistema, una vez almacenado, es de fácil manipulación para el usuario.
Provee una solución de almacenamiento sencilla e intuitiva.	El proceso de almacenamiento del sistema tiene un orden lógico y no requiere más de una herramienta.

Características físicas que delimitan el diseño

Escala del modelo del vehículo

Como modelo de referencia se utiliza un carro C7 Corvette (2014) a control remoto a una escala aproximada de 1:25 con respecto a un modelo real. La comparación entre las medidas y definición de la escala, se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 12. Comparativa de medidas y escala del modelo de referencia

Dimensiones referencia	Vehículo real (cm)	Modelo (cm)	Escala
Distancia entre ejes	271,08	11,5	24,636
Longitud total	449,58	19,2	23,632
Ancho total.	187,706	8	23,375
Altura total	123,444	6,5	20,5
Ancho de vía delantera (de rueda a rueda)	159,512	7	22,714

En este sentido, se toma la distancia entre ejes como escala de referencia, redondeándose esta 25.

Dimensiones para la estación de simulación

Se sabe que el largo y ancho de los módulos, en especial los de ruta, dependen de la escala del vehículo. Sin embargo, si se aplica la misma escala, 1:25, aproximadamente, para simular 100 m reales, se necesitaría 4 m en la simulación. Esto, se convierte en un inconveniente para la portabilidad y almacenamiento del sistema.

La primer alternativa de solución para este conflicto, sería reducir la escala. Pero, si se parte de un máximo de 1 m para la simulación de 100 m de carretera, se necesitaría una escala 1:100. Lo que, entonces, se convierte en un obstáculo para el acceso a la circuitería interna, ya que el largo de referencia del modelo del vehículo serían 2 cm.

Así, se llega otro criterio para determinar las dimensiones de la estación de simulación: el ancho de vía para uno y dos sentidos. Esto, se puede fundamentar con la norma NTP 534, que dice que "para calcular el ancho de una vía, se toma el ancho del vehículo y se suma 0,5 m a cada lado. Si la vía es de dos carriles, se toma el doble del ancho del vehículo y se suma 0,5 m a cada lado y 0,5 m en el medio." Así, en la realidad, las carreteras de una vía oscilan entre los 3 m y 3,5 m de ancho y las de dos vías, entre los 5,5 m y los 6 m.

Esta, aplicada al proyecto se vería así como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Dimensiones para la estación de simulación

	Vehículo real (cm)	Modelo (cm)	En la estación (cm)
Ancho del vehículo	188	8	8
Una vía	288	12	12
Dos vías	526	21	22

De esta manera, queda definido que, para un vehículo con 8 cm de ancho, el ancho de vía en la simulación sería de 12 cm para un sentido y de 22 para dos sentidos.

Dimensiones de los compartimentos para la circuitería

En la figura 18, se pueden observar las dimensiones máximas aproximadas para la contención de los circuitos internos tanto del modelo del vehículo, como de los módulos dinámicos. Además, al lado derecho, se puede apreciar una lista aproximada de los componentes ideales que portaría.

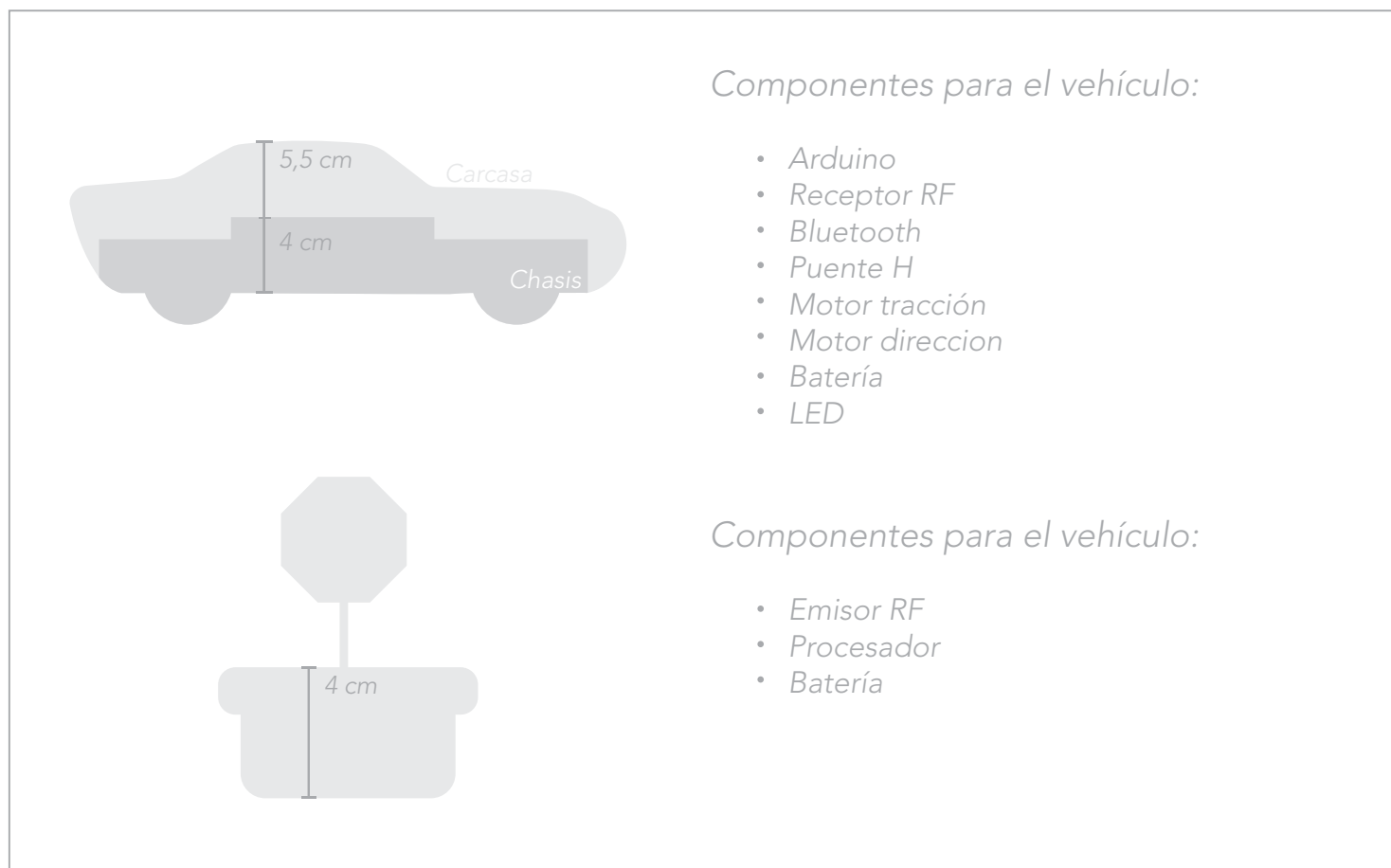


Figura 18. Dimensiones máximas aproximadas de los compartimentos para la circuitería

Funciones del sistema

Para una mejor estructuración de las funciones que debería cumplir el sistema, se presenta el siguiente diagrama (Figura 19).

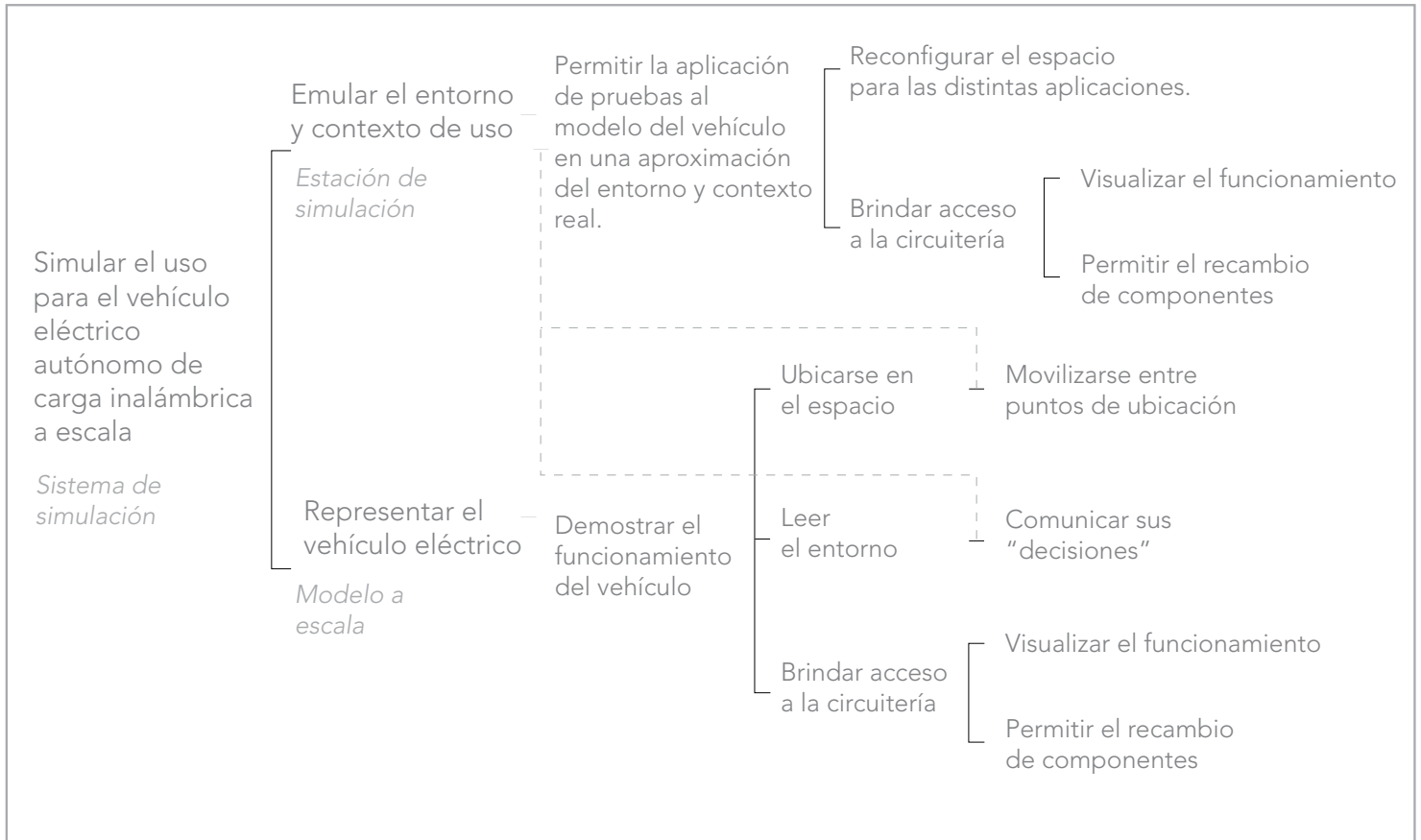


Figura 19. Diagrama de funciones

Recordando el diagrama del sistema (Figura 8), entonces se tiene una serie de funciones para cada subsistema primario. Así:

Estación de simulación:

Principalmente, sirve para emular el entorno y contexto de uso para aplicar pruebas al modelo del vehículo en una aproximación simplificada de este entorno y contexto. Para poder cumplir con esto, es muy importante permitir la reconfiguración del espacio, donde el usuario pueda ajustarlo según sea la tarea o prueba que necesite aplicarle al vehículo. Entre las posibles tareas que podrían surgir, está:

- Traslarse de un punto a otro.
- Hacer recorridos completos interpretando la señalización.
- Reaccionar ante una señal de tránsito.
- Detectar obstáculos.
- Realizar rutas con cruces, intersecciones, virajes.
- Girar en curvas y rotondas

- Movilizarse en terrenos irregulares o inclinados.
- Ubicar puntos de recarga.
- Interactuar con otros vehículos.

Para poder cumplir con estas tareas, es importante tomar en cuenta el diseño de los módulos de ruta y las capacidades electrónicas y programadas de los módulos dinámicos. Pero también, cabe mencionar que para que el carro tenga la capacidad de realizar estas tareas, la investigación y desarrollo del circuito debe avanzar. Este es el motivo, por el que muchas de estas funciones, se verán reflejadas en el diseño de manera teórica para su posterior implementación.

Modelo a escala del vehículo:

Su función principal es representar el vehículo eléctrico autónomo para poder demostrar el funcionamiento de los circuitos y programaciones propuestas por el laboratorio. Precisamente, como un vehículo autónomo, sus tareas principales con la ubicación en el espacio y la lectura del entorno. Estas cualidades se verían demostradas al entrar en interacción con la estación de simulación. Y el valor del sistema para el usuario, se encuentra en la recolección de información que pueda hacer el investigador al aplicar las distintas pruebas. Es aquí, donde la habilidad de comunicar el funcionamiento del vehículo y, el sistema en sí, es sumamente importante. Entre las posibles ideas a comunicar son:

- Funcionamiento y conectividad.
- Lectura del entorno (señalización y obstáculos).
- Ubicación de la ruta.
- Ubicación del punto de partida y llegada.
- Ubicación de los puntos de recarga.

Para lograr que esta información sea útil y enriquezca el valor de la aplicación de pruebas, esta información debe mostrarse de manera ágil para la identificación y ubicación de las señales, fácil para su interpretación y debe tener cierta capacidad de interacción.

Atributos

Como atributos o características deseables en el sistema se tiene la dinamismo y la practicidad. Su significado aplicado al proyecto se explica a continuación.

Dinámico:

Cada elemento está preparado para la constante interacción con el usuario y se muestra de tal manera que visibiliza estas capacidades de manipulación.

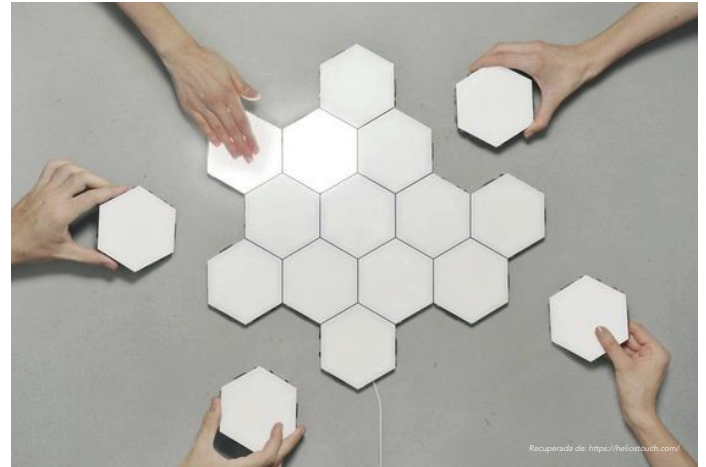


Figura 21. Atributo de diseño: dinámico

Práctico:

Los elementos visuales son utilizados estratégicamente para facilitar el flujo de información y el cumplimiento de sus funciones. Además su formas se estilizan para evitar la saturación visual.

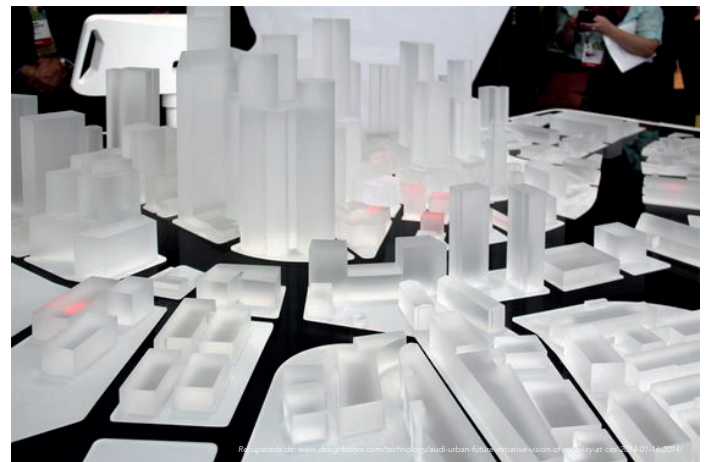


Figura 22. Atributo de diseño: práctico

Posibles escenarios de solución

Como un ejercicio para contemplar todas las opciones factibles para solucionar cada subsistema, se realiza un diagrama con los posibles escenarios de solución. (Figura 23)



Figura 23. Posibles escenarios de solución por subsistema

Alternativas de solución exploradas

Después de haberse analizado la información obtenida en las etapas previas del proyecto, se exploran algunas ideas para dar solución a la necesidad. Estas, se exponen de manera resumida a continuación, con algunas observaciones resultantes.

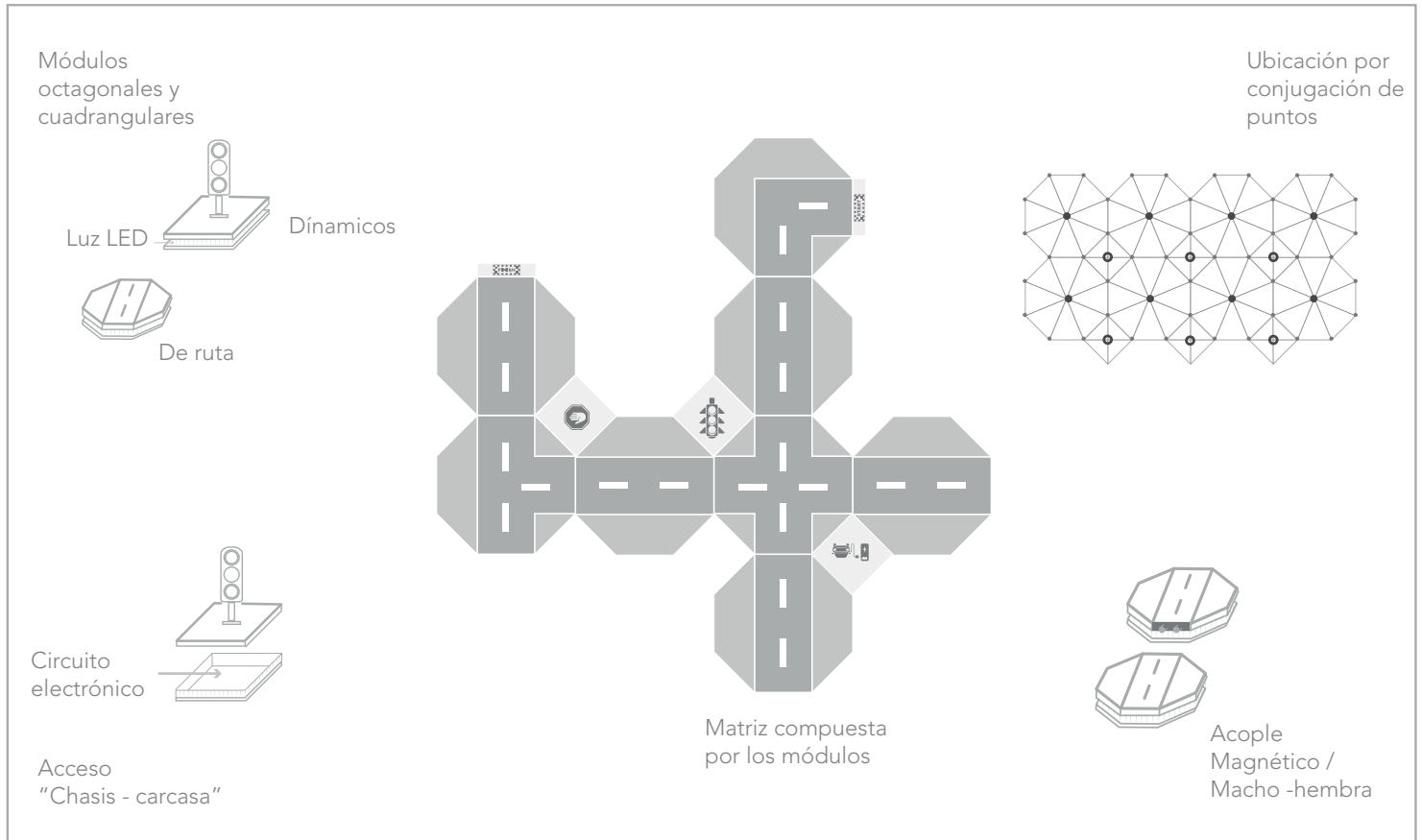


Figura 24. Alternativa no. 1 de solución

En esta propuesta, se explora el uso del espacio a través de figuras geométricas, buscando la diferenciación entre los módulos de ruta y los dinámicos, por medio del concepto figura-fondo. Entonces, se utiliza el octágono para los módulos de ruta pues en su área se pueden inscribir las distintas configuraciones para generar la carretera. Al unir varios octágonos por su arista, se generan rombos, que vendrían a cumplir como los módulos dinámicos.

Esta propuesta tuvo gran valor en criterios como la innovación en el uso del espacio, sin embargo pierde en la optimización del material, pues existen muchos espacios negativos que no tendrían ningún propósito. Otro punto negativo de esta propuesta, es que aplicando la norma para cumplir con el ancho de vía (Tabla 13), cada módulo octagonal quedaría de, por lo menos, 50 cm de altura, lo que dificulta la manipulación. En este sentido, trata de explorar otras composiciones y teselaciones, sin embargo los resultados son similares. Esto conduce a la conclusión, de que lo mejor es mantener las formas esenciales.

Por otro lado, de esta propuesta se rescata el acceso a los componentes internos de los módulos dinámicos por medio del sistema "chasis - carcasa". También, la exploración de un acople por medio de magnetos complementado por conectores macho-hembra.

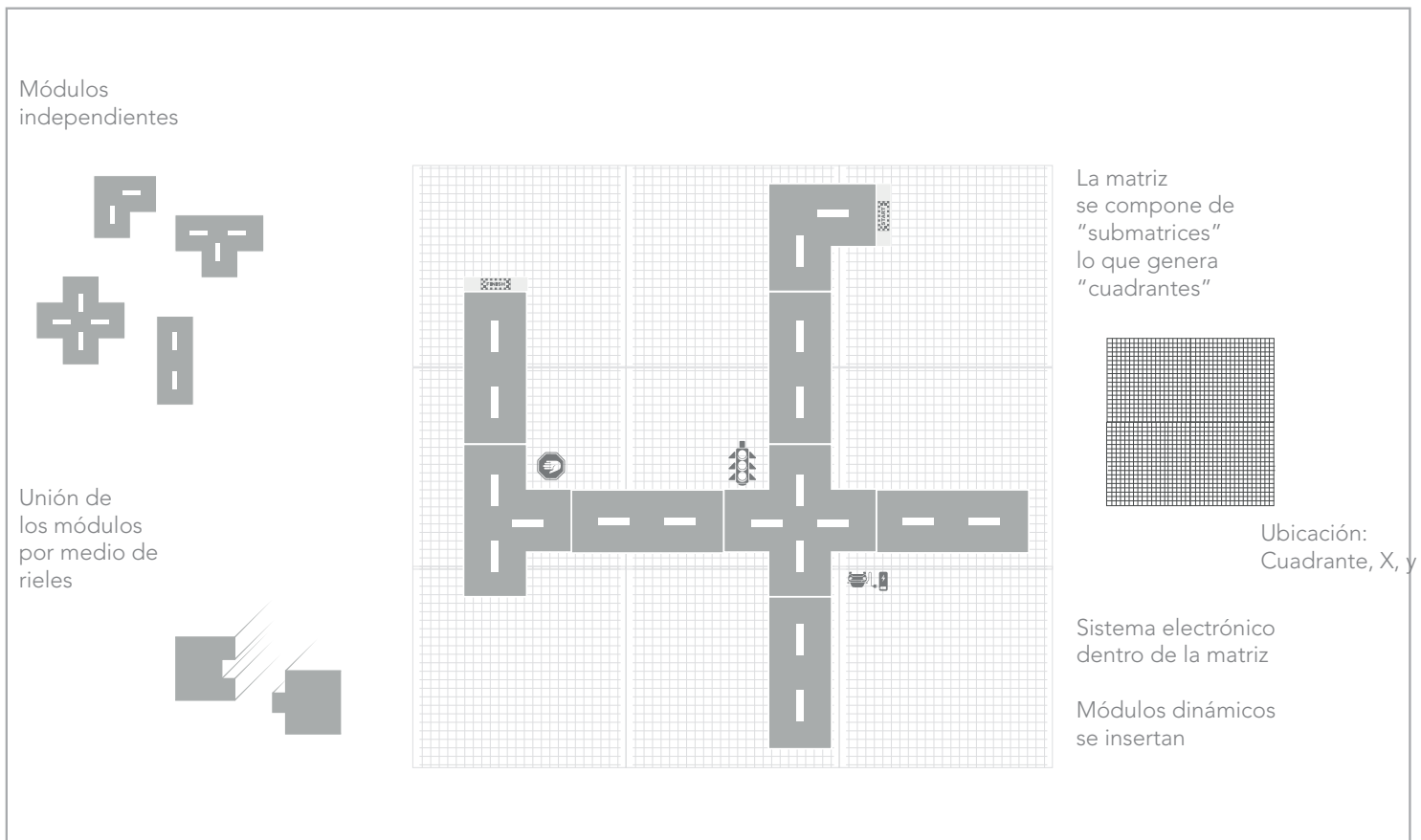
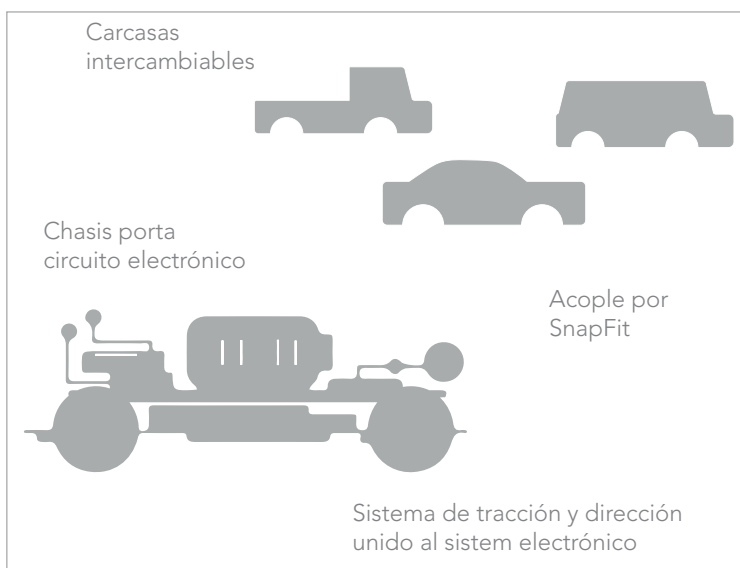


Figura 25. Alternativa no. 2 de solución

Esta segunda alternativa, mantiene las formas básicas, lo que aporta un poco más a la optimización de los recursos, sin embargo carece de estructura en relación a la propuesta anterior. Además, el acople que propone, aunque suele ser más común, tiene la desventaja del desgaste mecánico, es decir, por el uso podrían alterarse las formas, lo que resultaría en el debilitamiento de los puntos de unión. Cabe mencionar, que en esta propuesta no queda tan resultado la configuración de los módulos dinámicos y su acople con el resto del sistema. Pero se podría resolver, al tomar el diseño de los módulos de dinámicos del diseño anterior y se adapta a este.



Como primer propuesta para solucionar el modelo a escala del vehículo, se propone un sistema chasis-carcasa, donde todo el circuito está incorporado en el chasis, junto con el sistema de tracción y dirección. Y la carcasa, servirá para proteger las partes internas y, también, representar el vehículo. Esta alternativa, facilitaría también el intercambio de carcasas en caso de que quiera representar otra figura.

Figura 26. Propuesta para el modelo del vehículo

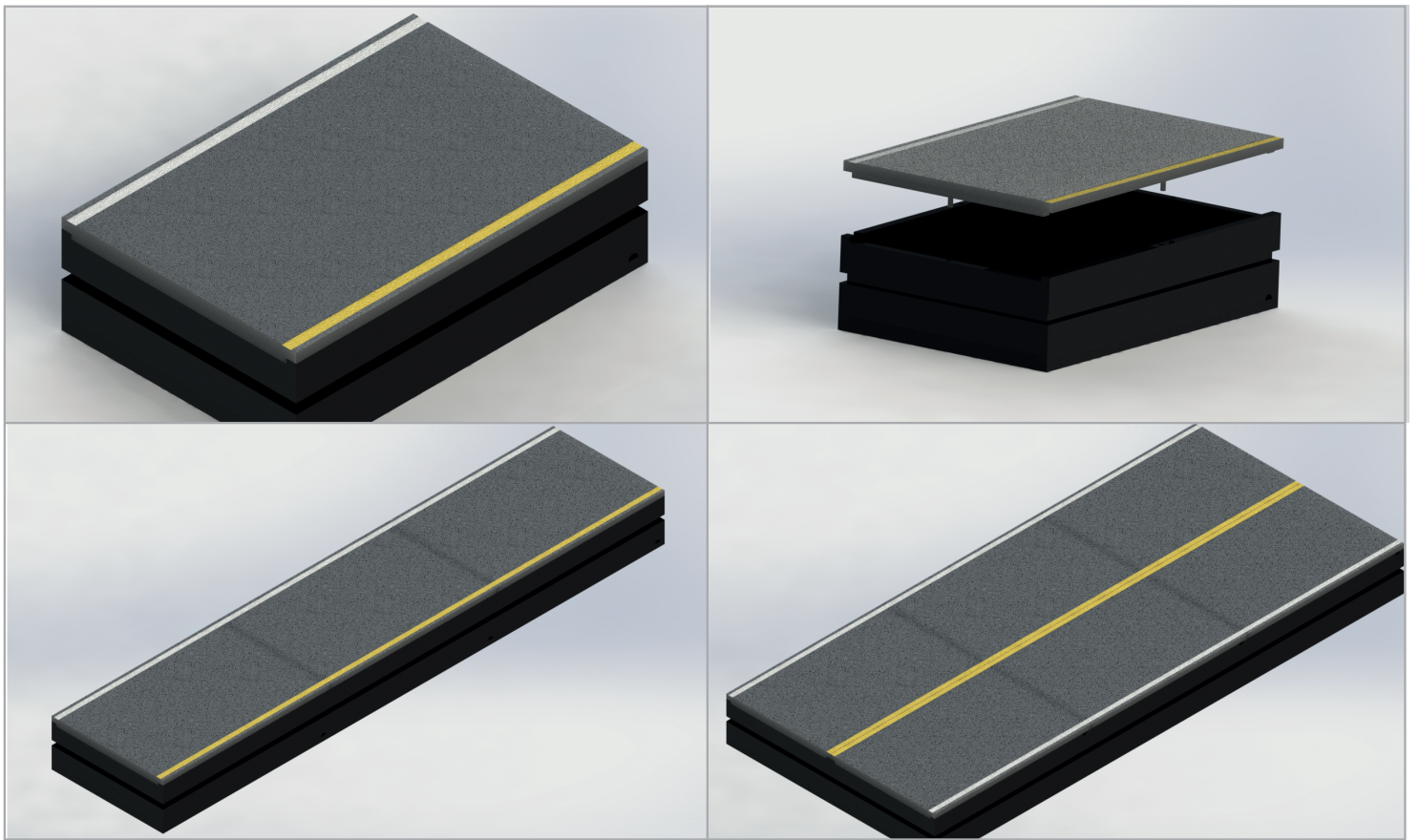


Figura 27. Alternativa no. 3 de solución

Tomando los aspectos positivos de las dos alternativas anteriores, surge esta donde la forma de los módulos de ruta se reduce a la forma básica o esencial para generar composiciones, pero se le da la estructura de la primer alternativa con uel sistema chasis-carcasa.

Aunque esta propuesta resuelve estas dos componentes del diseño, se plantea la posibilidad de optimizar aún más el material al reducir los puntos de apoyo, en los módulos de ruta, pues estos , por lo general no llevan un circuito electrónico en su interior.

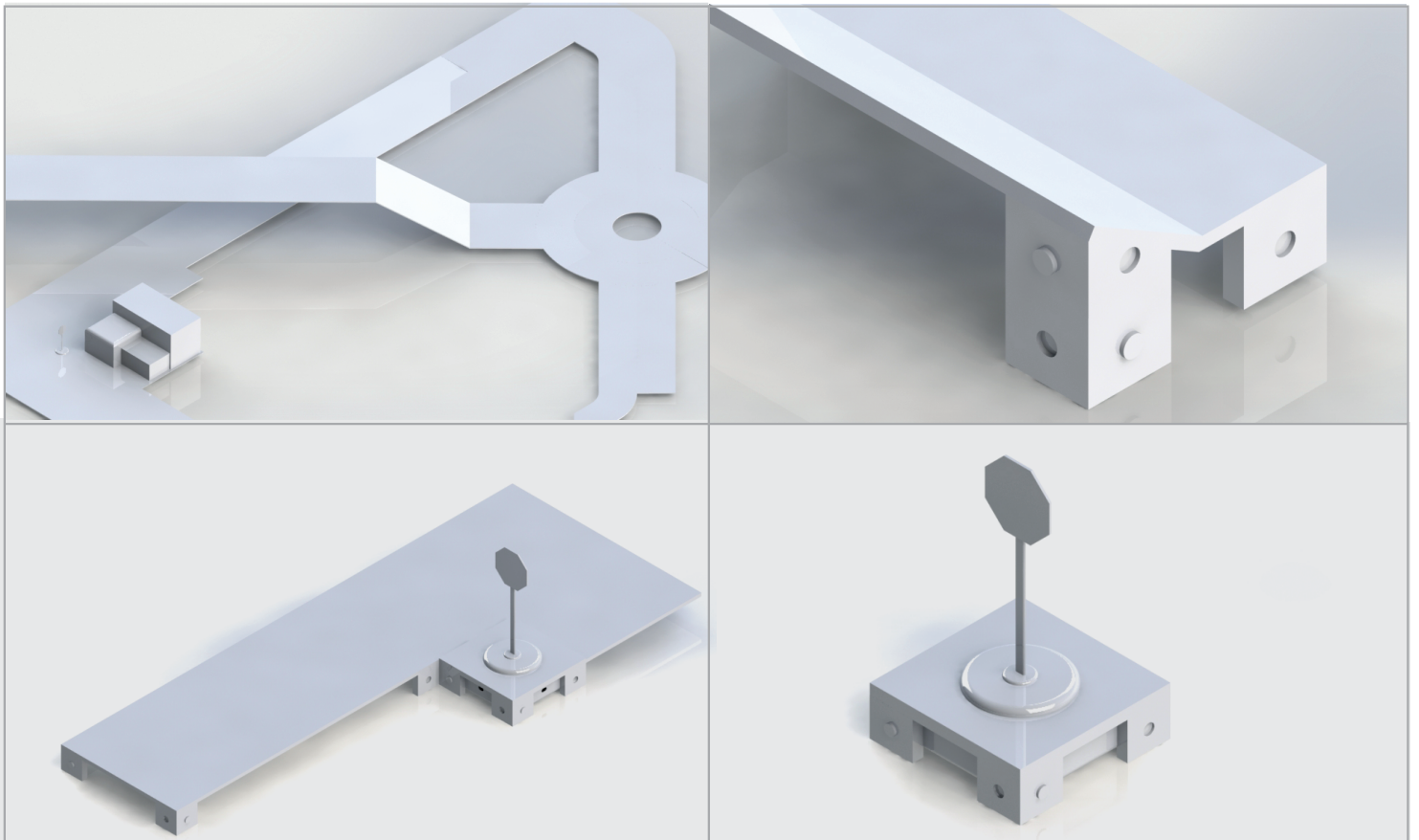


Figura 28. Alternativa no. 4 de solución

Finalmente, se toma la decisión de cambiar la caja inferior y separarla en módulos de unión, que se colocarían en puntos estratégicos para dar soporte al sistema. Estos módulos, darían la oportunidad de generar otros escenarios de uso para el vehículo, como pasos elevados.

Al procesar esta propuesta en modelado virtual, se halla que el concepto y atributos se podrían ver reforzados si se mantiene una estética monocromática, incluso se podrían añadir transparencias como elementos de comunicación. Además, se toma la decisión de que la mejor manera de manufacturar este sistema es en impresión 3D, pues es el medio más sencillo para que se puedan reproducir más piezas, en caso de ser necesario, por lo miembros del laboratorio.

Aún habiendo encontrado esta propuesta como una buena solución, se considera que puede ser pulida, para mejor la experiencia de usuario y la percepción que genere el sistema, al limpiar un poco la imagen y generar un efecto "flotante" en las piezas cuando se resuelvan de manera más sutil los puntos de unión. Todas estas observaciones, se verían aplicadas en la propuesta final, la cual, se explica en el apartado siguiente.

Solución final

Presentación del sistema

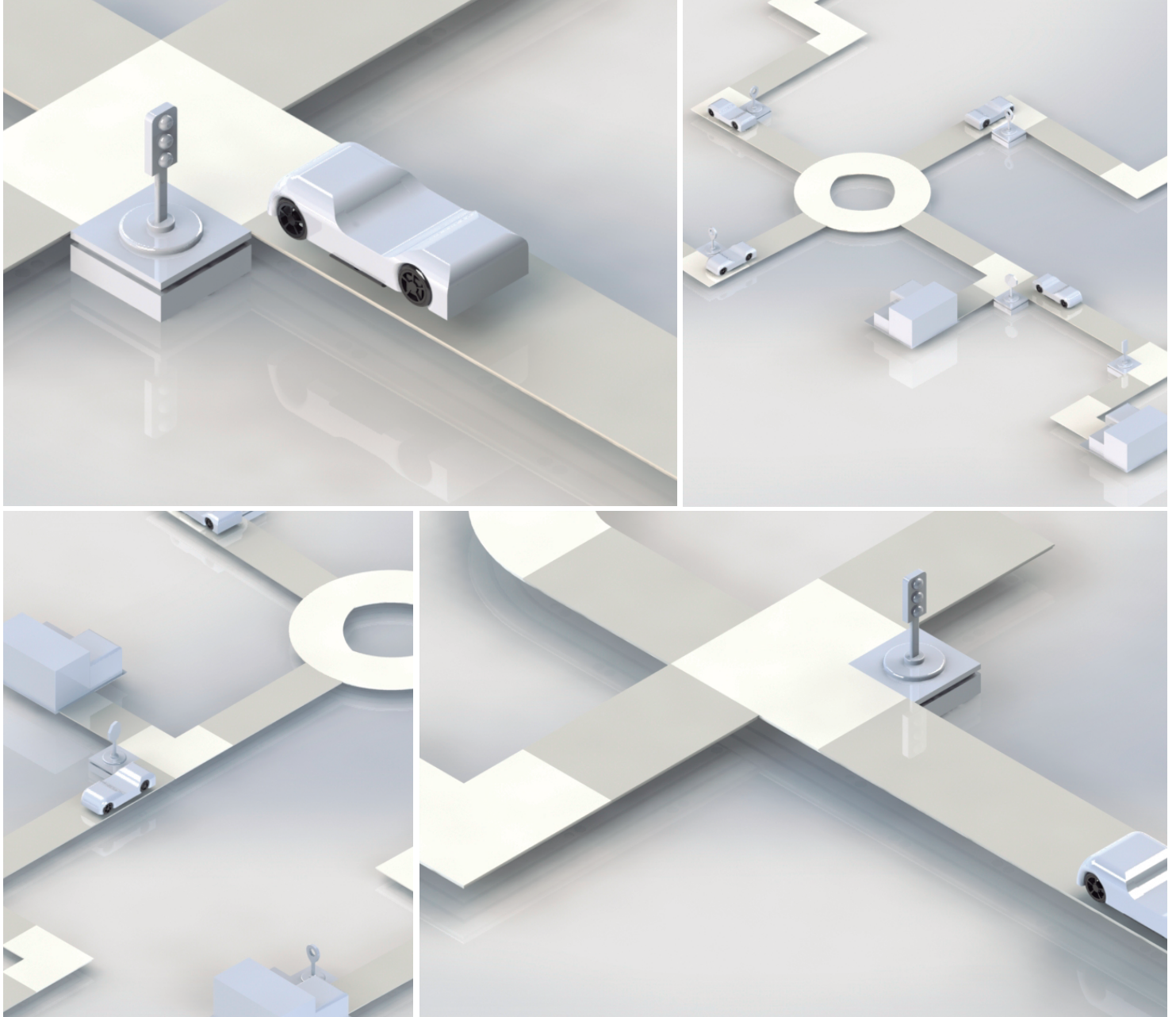


Figura 29. Presentación del sistema

La figura 29, muestra el sistema completo propuesto para dar solución a la pregunta ¿Cómo diseñar un sistema de simulación de uso para el vehículo eléctrico autónomo de carga inalámbrica a escala desarrollado por el LIVE?. Consiste en un sistema compuesto por módulos que interactúan entre sí para dar al circuito el entorno y contexto ideal en una representación aproximada al real.

Para dar con la solución, fue utilizada la metodología del diseño por subsistemas, por lo tanto, se procede a detallar esta solución de la misma manera.

Solución por subsistemas

Subsistemas primarios (portantes)

- Estación de simulación:

Este subsistema cumple la función de emular las condiciones de contexto o entorno a las que se vería expuesto el vehículo en el caso real. Esto, se resuelve al diseñar los módulos en tres categorías: módulos de ruta, dinámicos y de escenario.

Módulos de ruta:

Para comenzar, estos son los módulos encargados de componer el recorrido que debe hacer el vehículo en las posibles pruebas que se le aplicaría. Por este motivo, era importante que el diseño facilitara la recomposición del espacio. Es decir, que de manera dinámica el investigador pueda elegir las piezas para construir la ruta con la que se pueda verificar el funcionamiento del circuito.

Para esto, se generaron 9 diseños diferentes que permitirían una amplia gama de posibilidades de ruta.

1. Recta:

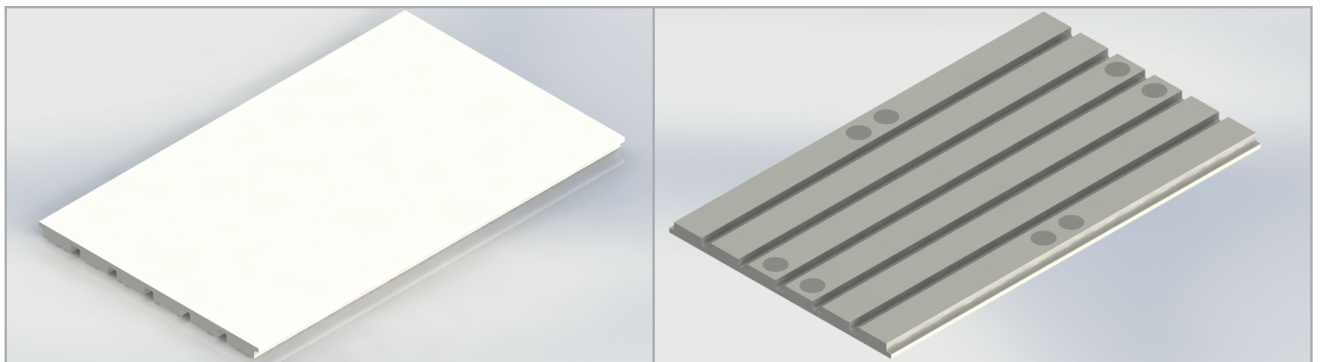


Figura 30. Módulos de ruta: recta

Este módulo sirve para la representación de trayectos rectos.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 31.

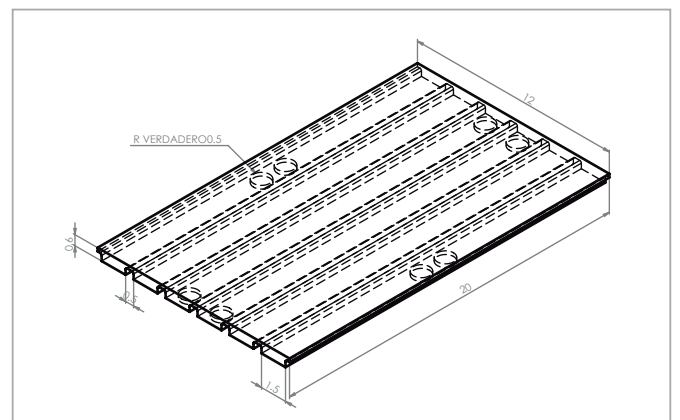


Figura 31. Dimensiones del módulo de ruta: recta

2. Viraje

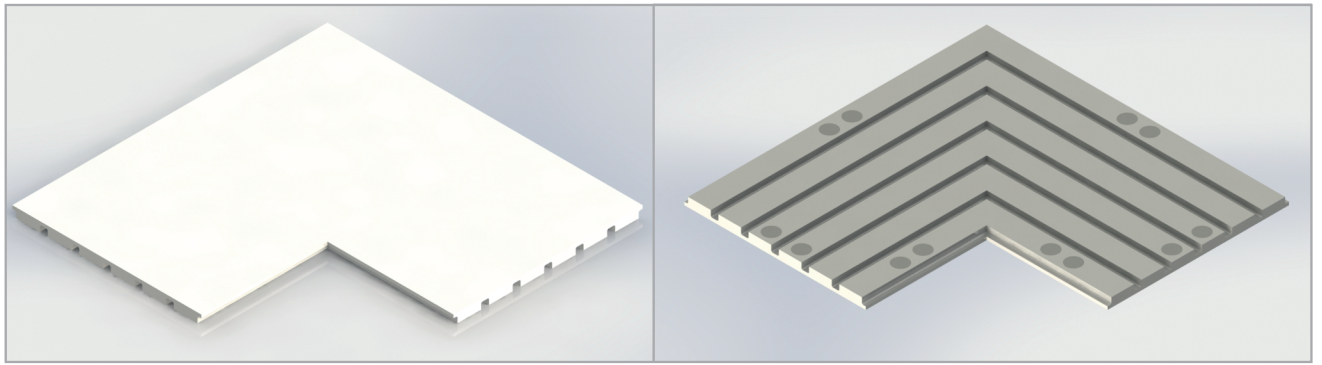


Figura 32. Módulos de ruta: viraje

La función de este diseño es representar esquinas, intersecciones y vías sin salida.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 33.

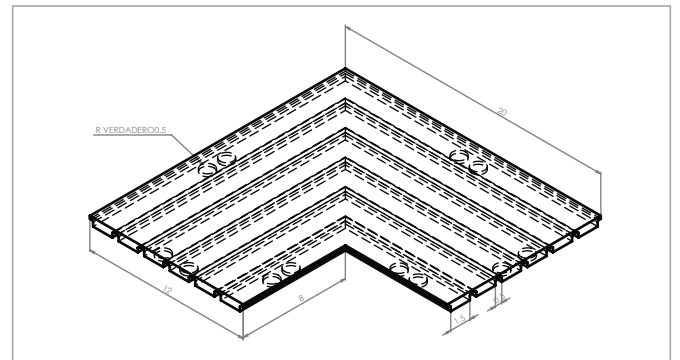


Figura 33. Dimensiones del módulo de ruta: viraje

3. Viraje abierto

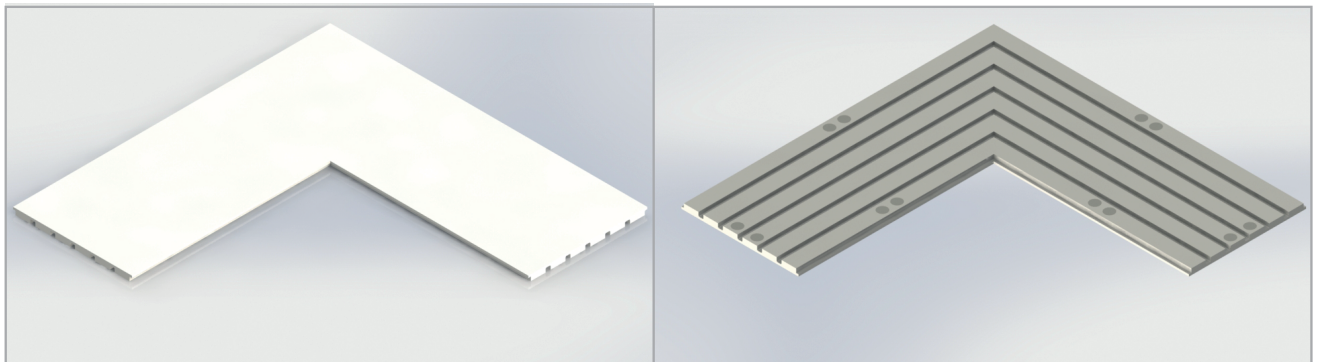


Figura 34. Módulos de ruta: viraje abierto

Esta pieza cumple las mismas funciones que la anterior, solo que esta se utiliza para hacer el segundo carril de un viraje.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 35.

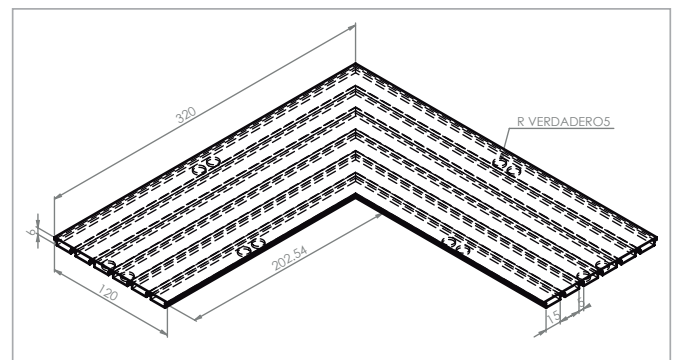


Figura 35. Dimensiones del módulo de ruta: viraje abierto

4. Curva

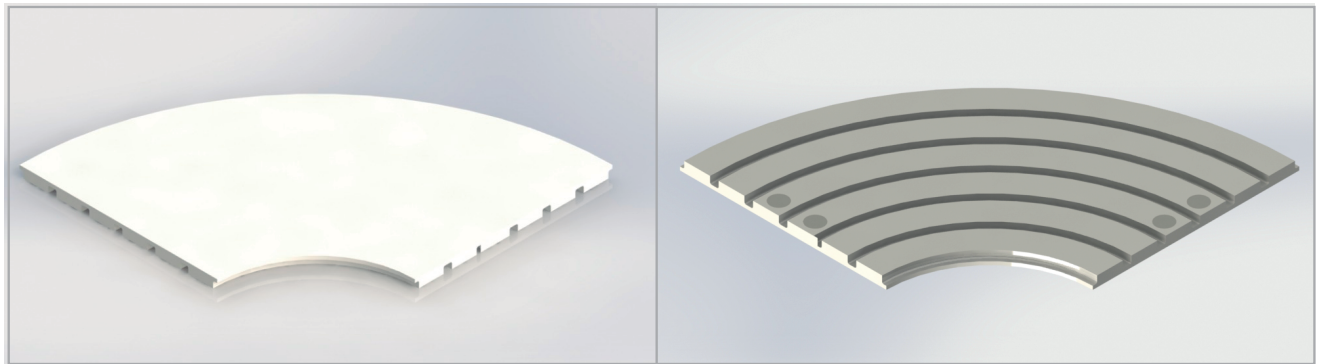


Figura 36. Módulos de ruta: curva

Se utiliza este módulo para representar virajes curvos, rotondas, caminos serpenteantes y giros en u.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 37.

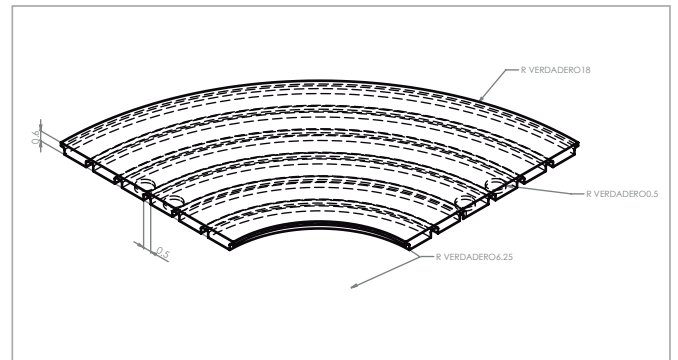


Figura 37. Dimensiones del módulo de ruta: curva

5. Curva abierta

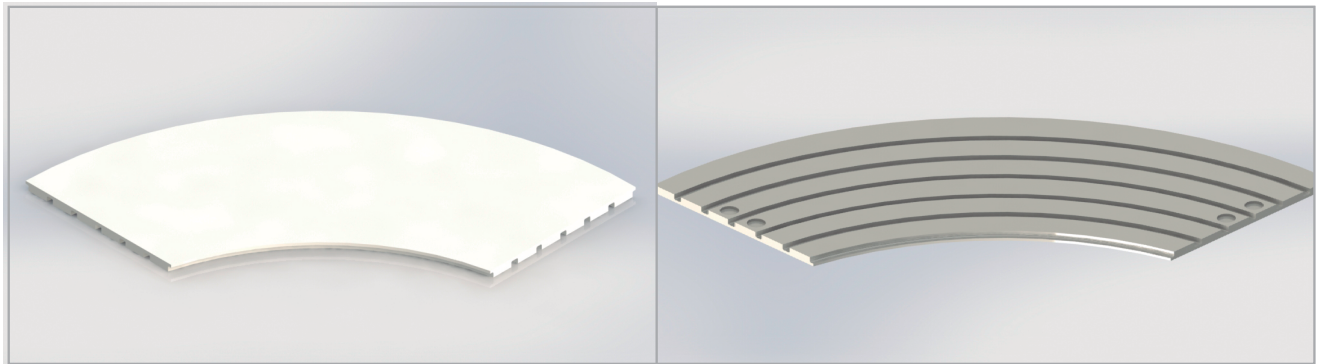


Figura 38. Módulos de ruta: curva abierta

Funciona para los mismos propósitos que la curva, sin embargo esta se utiliza para formar un segundo carril.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 39.

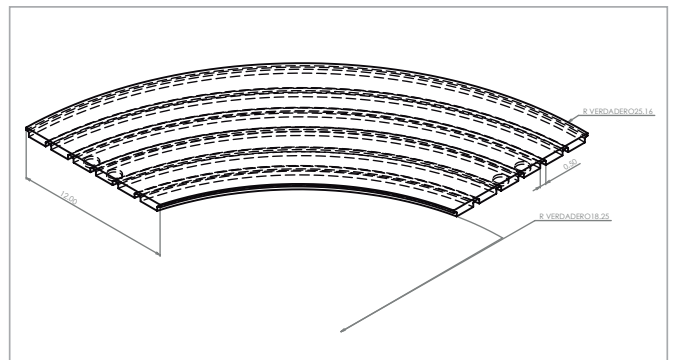


Figura 39. Dimensiones del módulo de ruta: curva abierta

6. Diagonal

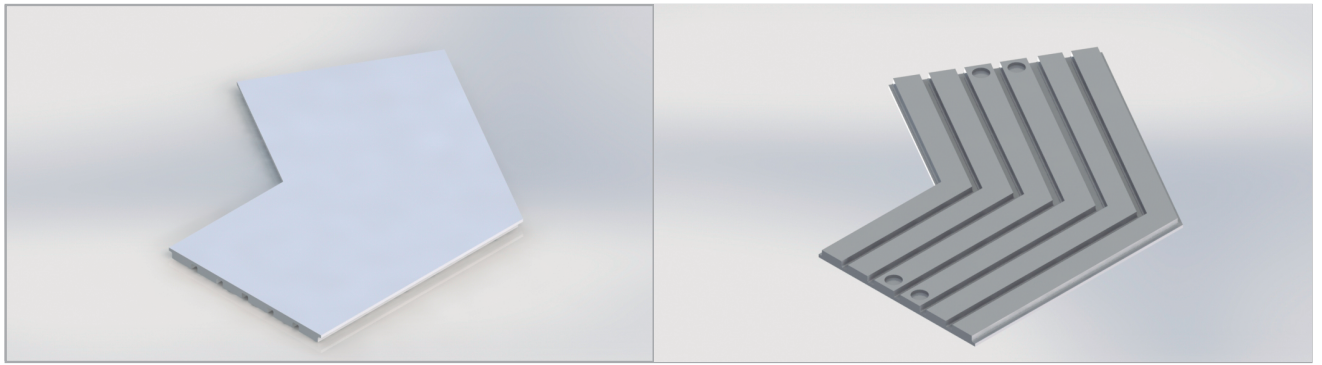


Figura 40. Módulos de ruta: diagonal

Su uso se da cuando se busca representar virajes e intersecciones "en Y" o en diagonal.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 41.

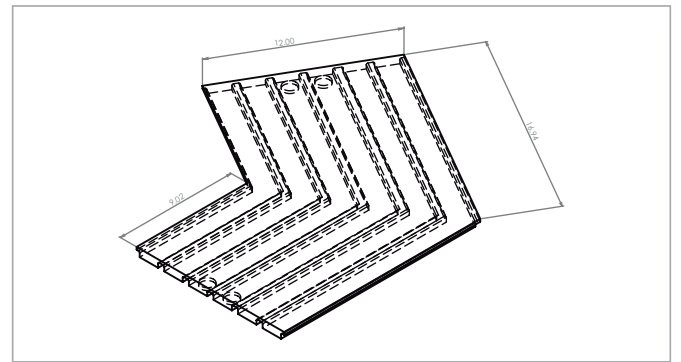


Figura 41. Dimensiones del módulo de ruta: diagonal

7. Diagonal abierta



Figura 42. Módulos de ruta: diagonal

Sirve para generar el segundo carril en intersecciones y virajes en "Y".

Cabe mencionar que, a diferencia de las otras piezas, esta no es simétrica, por lo que hubo que general una para el lado derecho y otra para el lado izquierdo.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 43.

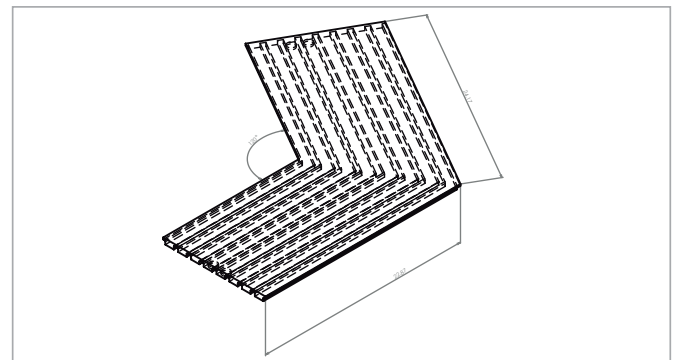


Figura 43. Dimensiones del módulo de ruta: diagonal abierta

8. Paso elevado

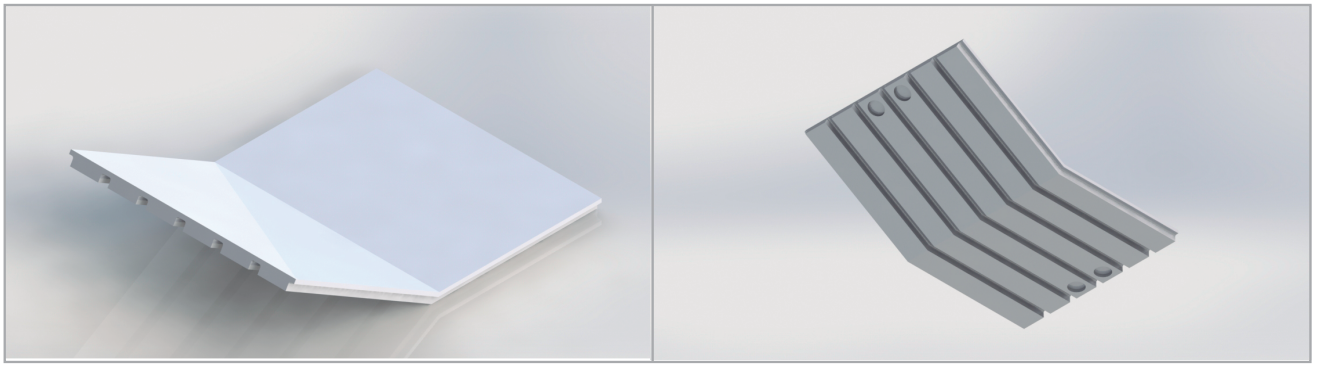


Figura 44. Módulos de ruta: paso elevado

Por medio de es módulo se pueden formar planos inclinados para representar puentes, pasos elevados, rampas.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 45.

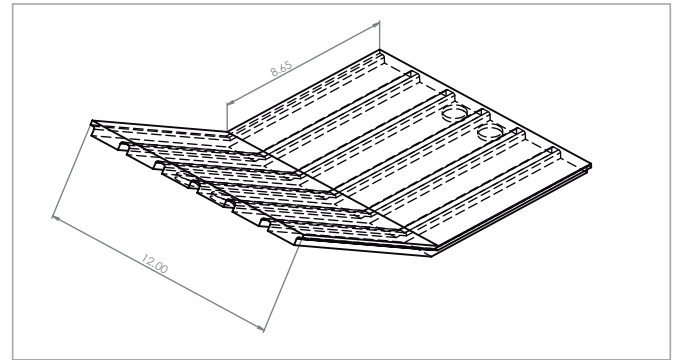


Figura 45. Dimensiones del módulo de ruta: paso elevado

9. Salida de rotonda:

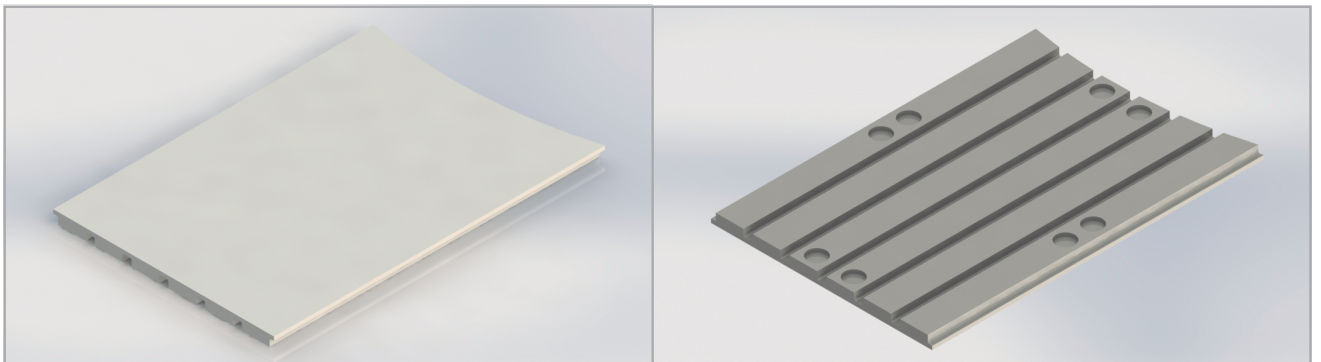


Figura 46. Módulos de ruta: Salida de rotonda

Esta pieza consiste en la adaptación de la recta pero con un canto curvo que logra adaptarse al radio de la curva. Sirve para representar las salidas de las rotondas principalmente.

Las dimensiones físicas de la pieza, se presentan en la figura 47.

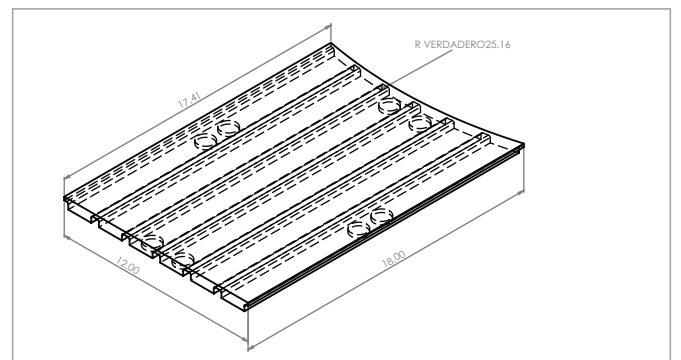
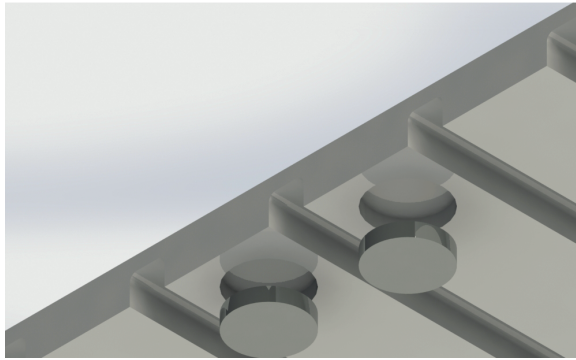
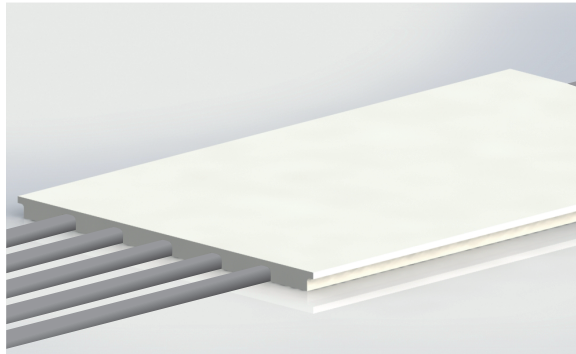


Figura 47. Dimensiones del módulo de ruta: salida de rotonda

Otras características:



En la parte inferior del módulo, de cada lado, se integra un par de imanes, separados por un canal, que sirven como contraparte del módulo de acople, el cuál se detallará más adelante.



De igual manera, en la cara inferior de los módulos de ruta, se integró una serie de canales paralelos que cumplen con varias funciones, principalmente, generan la contra forma para el encaje del módulo de acople. En segundo lugar, se prevé la necesidad del uso de cables, por lo que sirven como pasantes para estos. Finalmente, estos cortes provocan la optimización de material sin comprometer la estructura.

Figura 49. Canales para el posible paso de cables

Módulos dinámicos:

Estos, son los encargados de emitir señales que son recibidas por el modelo del vehículo, interpretándolas como comandos para su conducción. Una vez recibidas estas señales, se da la comunicación entre las partes, dando como señal el destello de una luz led. Se utilizan, entonces, para representar situaciones que ocurren en la realidad al conducirse un vehículo y así, comprobar las capacidades del circuito para leer, interpretar y ubicarse en el entorno.

En la figura 50, se presenta por medio de un exploso la estructura de tres partes de estos módulos:

1. Compartimento: es el espacio para contener el circuito electrónico. Este, posee una estructura que mantiene los componentes en su lugar.
2. Superficie: Sirve como cubierta para el contenedor y punto de apoyo para el módulo de acople y el símbolo de la representación.
3. Símbolo: es la representación simplificada de la situación a simular, esta es una abstracción de las reales para evitar la saturación de los elementos y aumentar la practicidad del sistema.

Las dimensiones físicas de esta estructura se presentan en la figura 51.

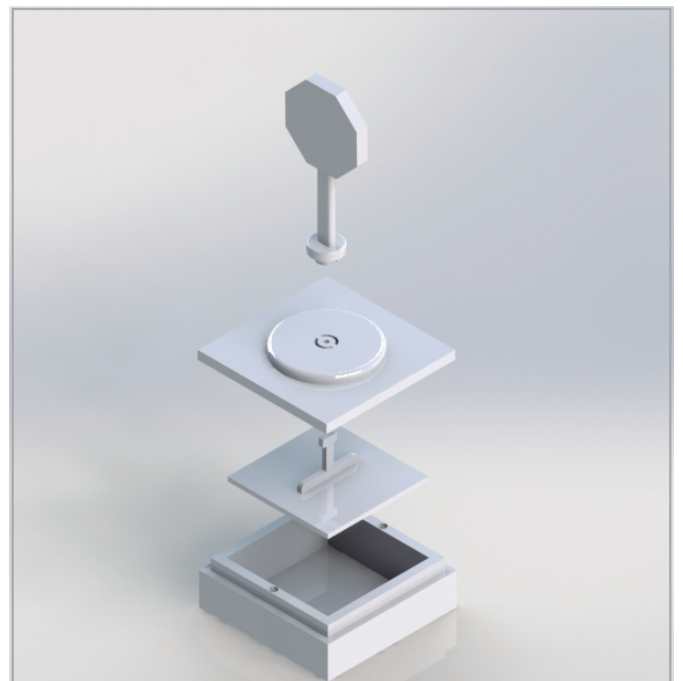


Figura 50. Exploso de la estructura del módulo dinámico

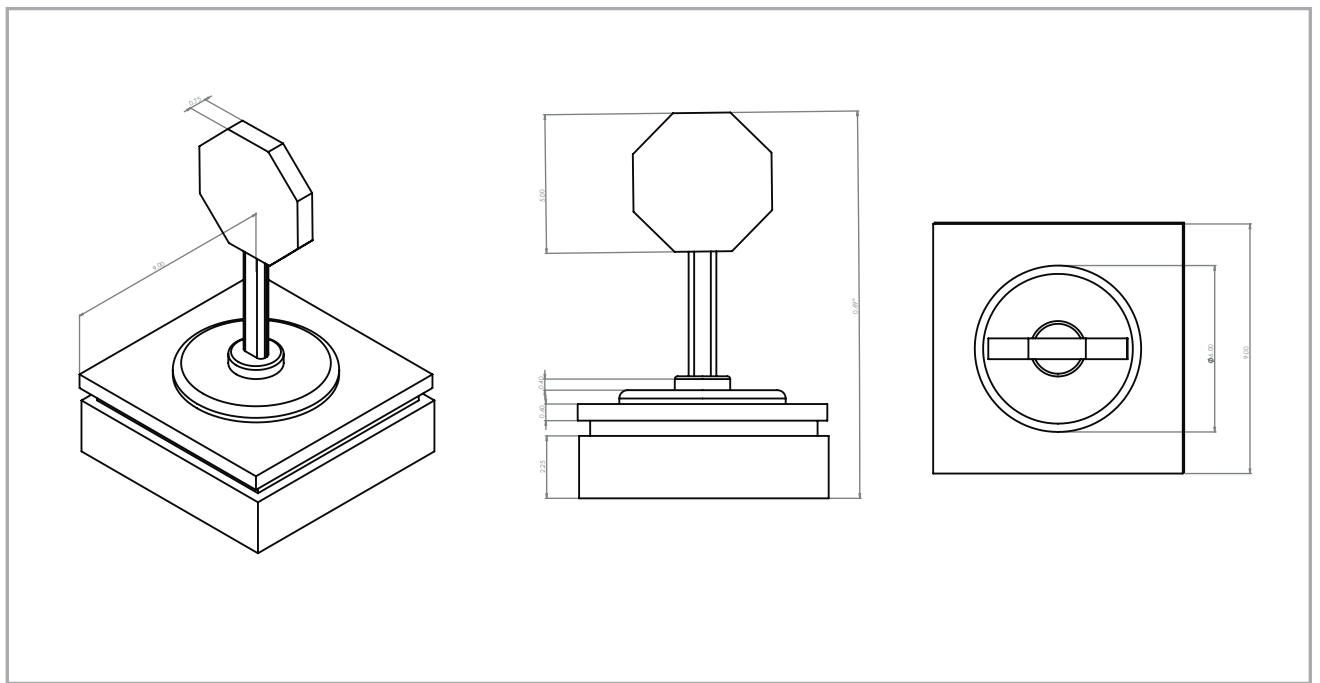


Figura 51. Dimensiones de los módulos dinámicos

Se tienen, entonces, 3 símbolos: las señales de tránsito, puntos de ubicación y las estaciones de recarga. Estos se explicaran con mayor detalle a continuación. Sin embargo, es importante mencionar, que la estructura se mantiene igual para los tres casos.

1. Señales de tránsito

Una señal de alto, un semáforo, una calle cerrada o sin salida, entre tantas otras, sin embargo, estas tres fueron elegidas como las principales para resolver la demostración de la lectura e interpretación del entorno para esta primera instancia, visualizando la futura habilidad de actuar en consecuencia.

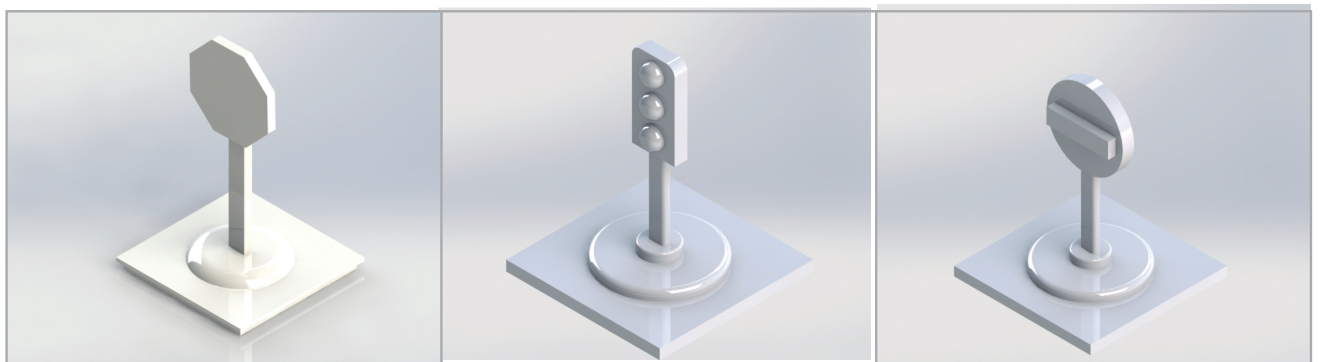


Figura 52. Módulos dinámicos: Señales de tránsito

2. Puntos de ubicación

Los dos fundamentos técnicos para la realización de este sistema, son las investigaciones que dieron como resultado los circuitos para la conducción autónoma y la recarga inalámbrica de vehículos eléctricos a escala. En cuanto a la conducción autónoma, se plantea abarcarla en un nivel 3, es decir, "... es capaz de analizar el entorno y tiene la autonomía para tomar decisiones y actuar cuando al conductor no le da tiempo de reaccionar ante una situación dada." (Ver página 27); aplicado al sistema, se refiere a que es vehículo sí va a contar con un conductor, el investigador por medio de un control remoto, sin embargo, debería poder analizar el entorno, e interpretar las señales para tomar ciertas decisiones, siempre previendo que se espera llegar al nivel 5, es decir, la autonomía total del vehículo.

La ubicación en el espacio, representa un reto grande para este proyecto pues la tecnología más indicada para lograrlo es el GPS, sin embargo a una escala pequeña la precisión se ve afectada y perdería su valor. Entonces, una posible solución para esto, es la implementación de una aproximación del GPS a la escala del sistema, es decir, adaptar la tecnología del sistema de ubicación por posición global a las dimensiones de este ambiente de simulación. No obstante, esta solución requiere de recursos importantes con los que no se contaba para el desarrollo de esta propuesta, entonces, se halla la respuesta por medio de los módulos dinámicos. Se diseñan así, el punto de partida y de llegada bajo la misma estructura de las señales de tránsito, donde emiten señales que le permiten al vehículo saber que ha llegado a su destino.



Figura 53. Módulos dinámicos: Puntos de ubicación

3. Estaciones de recarga

Por otro lado, está la recarga inalámbrica. En esta sucede lo mismo, su implementación totalmente funcional dentro del sistema no es posible con los recursos que tienen por el momento. Sin embargo, para esta primera instancia no representa un problema, pues lo que se busca es que el vehículo sea capaz de reconocer los puntos de recarga que se encuentran en la ruta y, en su momento, dirigirse a ellos cuando su batería esté baja. Entonces se resuelven de la misma manera que las señales de tránsito, emitiendo una señal para que el vehículo sea capaz de reconocer que se encuentra cerca de un punto de recarga.



Figura 54. Módulos dinámicos: Estaciones de recarga

Módulos de escenario:

Finalmente, se tienen los módulos de escenario. Estos se proponen como parte del sistema pues son elementos que forman parte del entorno y contexto de una ciudad. Si bien es cierto, las investigaciones actuales del laboratorio no requieren específicamente de estos, una de las expectativas para el sistema es que prevea la integración de nuevas partes y componentes así como que evolucione con las demandas resultantes de este y nuevos procesos de investigación. Además, LIVE a venido incursionando en la temática de las ciudades resilientes, lo que podría hacer surgir nuevas investigaciones centradas en esta temática. Siendo así, se proponen estos dos módulos (figura 55) como una muestra de las posibilidades que ofrece el sistema.

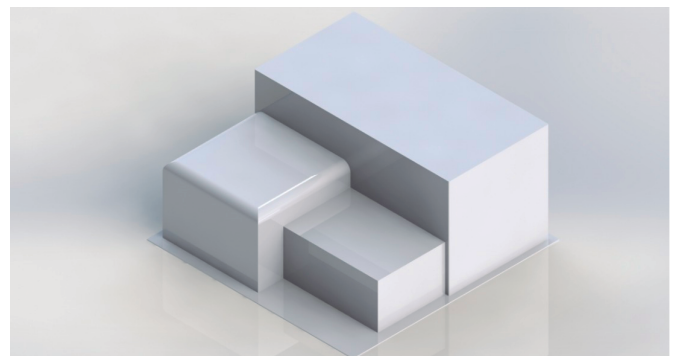


Figura 55. Módulos de escenario

Cumplimiento de los criterios de verificación:

Como se mostraba en las fases anteriores de la investigación, se establecieron una serie de requerimientos a partir de la necesidad, expectativas de los usuarios y la definición de los objetivos. Estos requerimientos se adaptaron a cada subsistema por medio de características o parámetros. A continuación se inserta la tabla utilizada anteriormente, y se verifica cómo la propuesta de solución para la estación de simulación cumple con estos.

Tabla 3. Criterios de verificación: estación de simulación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	La estación de simulación comunica el funcionamiento del vehículo.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El sistema funciona de manera eficiente en por lo menos 2 tipos de superficie.
Permite múltiples composiciones en el espacio.	La reconfiguración del espacio es factible de una manera rápida e intuitiva.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Está preparado para la incorporación de nuevos módulos y el proceso constructivo de los módulos es trazable.
Contempla la portabilidad del sistema.	El sistema es almacenable, tiene un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

Parámetro: La estación de simulación comunica el funcionamiento del vehículo

Se cumple este parámetro al entrar en interacción los módulos dinámicos con el modelo del vehículo, una vez dada la comunicación entre las partes una luz LED ubicada en ambos sistemas, genera un destello como señal. Esto, se amplía a detalle en el subsistema de comunicación y retroalimentación. Por otro lado, junto con el subsistema de control, se propone una implementación posterior de una interfaz gráfica para la visualización y procesamiento de datos obtenidos a lo largo de las aplicaciones de pruebas.

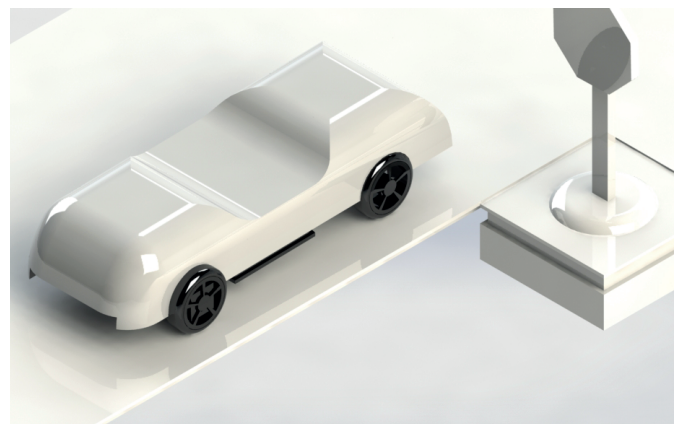


Figura 56. Interacción de los módulos dinámicos con el modelo del vehículo

Parámetro: La interacción con los componentes no se ve obstaculizada

Los circuitos electrónicos, los portan los módulos dinámicos. Estos, se diseñan de manera que el acceso a las partes internas se da con solo remover la superficie, quedando el compartimento. En este, el circuito electrónico se encaja en una estructura de soporte, sin embargo, no existen las uniones permanentes.

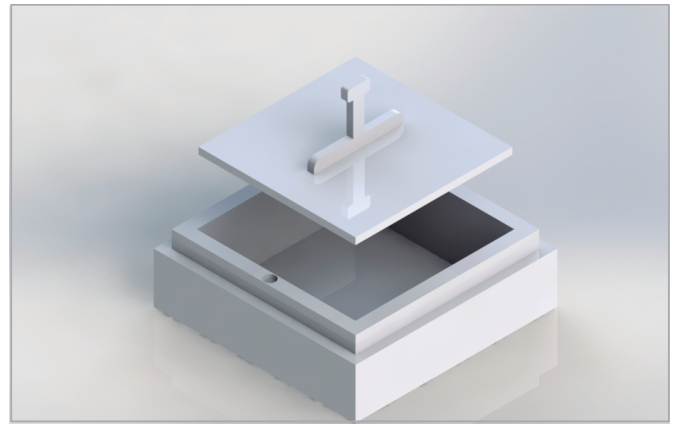


Figura 57. Soporte para el circuito en el compartimento del módulo dinámico

Parámetro: El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta

Para el diseño en general, pero especialmente el de los módulos, se buscaba reducir la cantidad de piezas lo más posible. Quedando entonces un máximo de tres piezas en el caso de los módulos dinámicos y una en los módulos de ruta y de escenario. Además, el sistema de unión que se propone, la combinación de magnetos con conectores macho-hembra, que se expone a detalle más adelante, no requiere ninguna herramienta. Adicionalmente, las formas utilizadas sirven como guía para alcanzar el encaje correcto de las piezas.

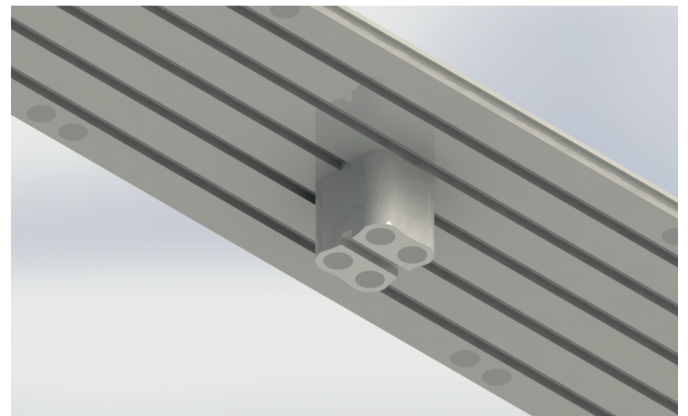


Figura 58. Acople entre los módulos de ruta

Parámetro: El sistema funciona de manera eficiente en por lo menos dos tipos de superficie

Este criterio resulta especialmente importante en el caso de la estación de simulación, pues se pretendía eliminar la necesidad de una superficie o estructura fija que resultara aparatosa para la movilización de las partes y entonces, limitara los escenarios de uso que puede tener el sistema. Este diseño por módulos, permite la selección de las partes que se utilizarán, ahorrando el espacio de aquellas que no serían de provecho en el momento. La estructuración de las piezas hace que no sea necesaria una superficie fija de apoyo. Además, se le da autonomía a cada módulo al contar con su propia batería, eliminando así, las conexiones con cables y la dependencia a la corriente eléctrica.

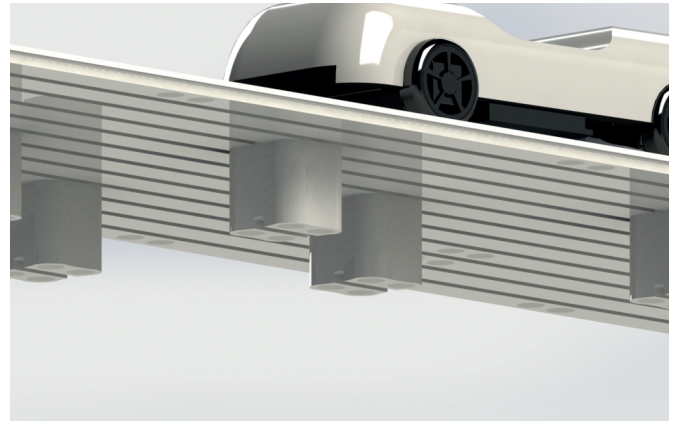


Figura 59. Estructura del ensamblaje de la estación de simulación

Parámetro: La reconfiguración del espacio es factible de una manera rápida e intuitiva

Los módulos de ruta son los principales facilitadores de esta función. Al diseñarse con formas familiares e intuitivas, así como un acople sencillo, práctico y estandarizado para la mayor parte del sistema, se logra resolver la reconfiguración del espacio sin muchos pasos o una curva de aprendizaje pronunciada.

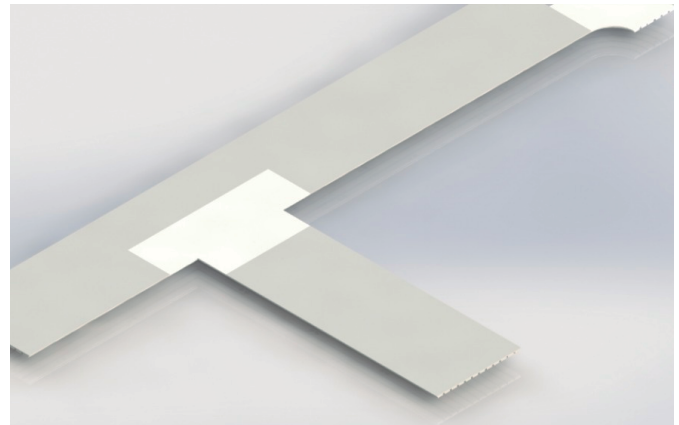


Figura 60. Variedad de diseños de los módulos de ruta

Parámetro: Está preparado para la incorporación de nuevos módulos y el proceso constructivo de los módulos es trazable.

Para el sistema en general, se propone la manufactura por impresión 3D. De manera que, los módulos y partes, se diseñaron en el programa de modelado virtual, SolidWorks, para que, entregándole al laboratorio las partes en este formato, su implementación pueda ser progresiva, según vaya siendo la necesidad. De la misma manera, se pueden generar nuevas partes al crear nuevas piezas o modificar las existentes.

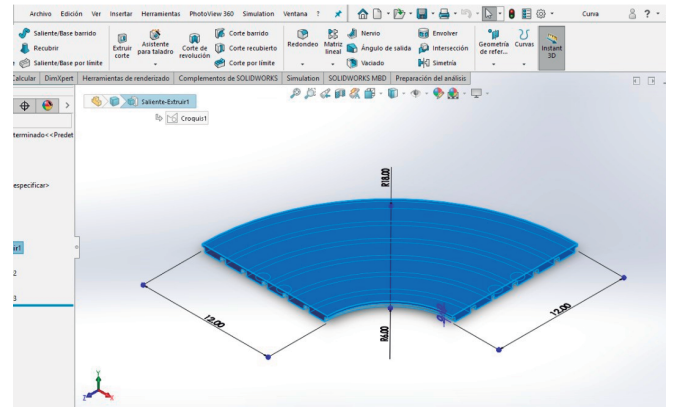


Figura 61. Modelado virtual de los módulos de ruta

Parámetro: El sistema es almacenable, tienen un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

Los filamentos para impresión 3D, en especial el ABS, son bastante resistentes aunque ligeros y estas son dos características importantes para la movilidad del sistema. Por otro lado, los módulos se diseñaron de manera simplificada, pocas piezas y la mayoría simétricos, esto facilita el apilamiento y optimización del espacio.

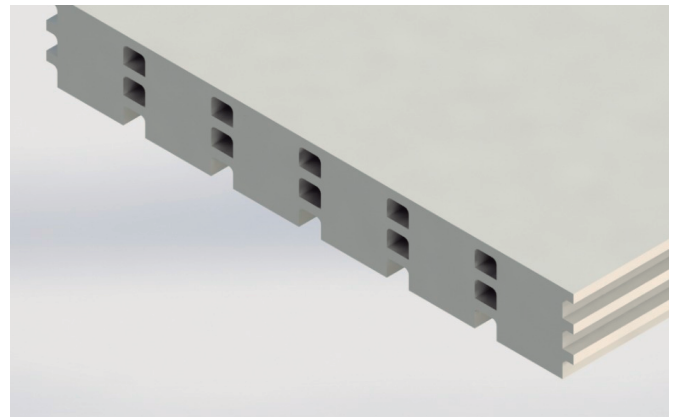


Figura 62. Módulos de ruta apilados

- Modelo a escala:

Es el subsistema que representa al vehículo eléctrico en el ambiente de simulación. Además es el portador del circuito electrónico principal, que brinda las funciones autónomas al vehículo.

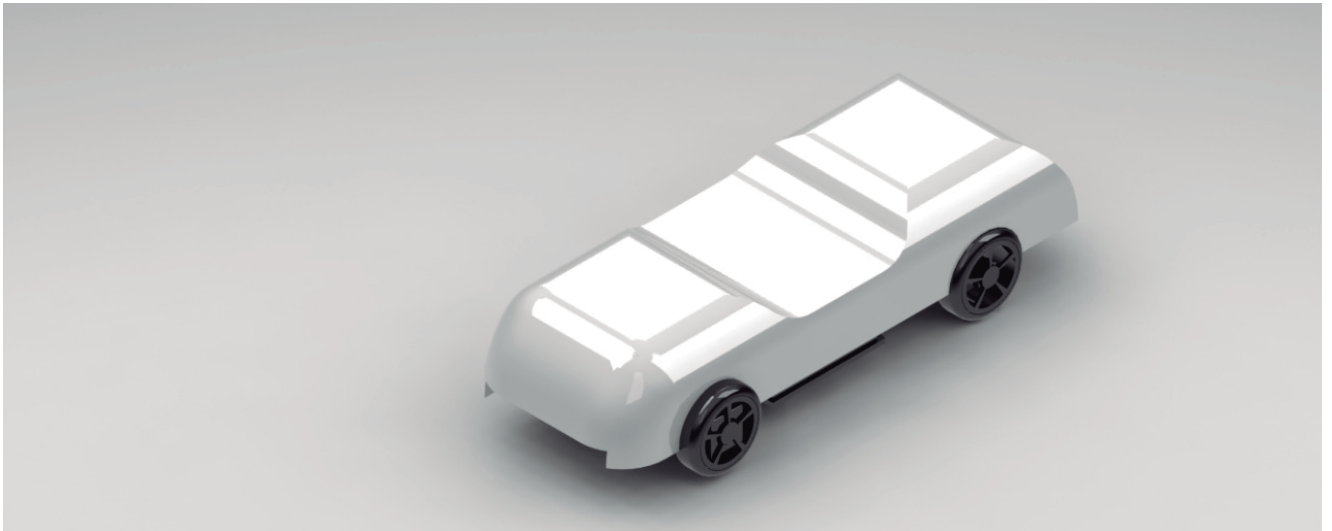


Figura 63. Presentación del modelo a escala

Se construye como un sistema chasis - carcasa, donde el chasis porta el circuito electrónico y el la carcasa se encarga de cubrir y proteger el sistema. Esta última, se diseña de manera que represente el vehículo sin embargo se simplifica su forma para contribuir con el atributo "práctico", que estiliza y abstrae las formas básicas de los elementos para no saturar a nivel visual.

El chasis, propiamente, se compone de tres partes:

1. Dirección: Es el módulo que porta el motor para dar dirección a las llantas delanteras.
2. Compartimento: Es el que porta los controladores y alimentación del circuito. Porta una estructura para sostener los componentes. Además, se diseño de manera que pueda variarse por compartimentos más largos para representar otros vehículos junto con otra carcasa, como un bus o camión.
3. Tracción: Este el módulo que porta el motor conectado al eje de las llantas traseras.

Las dimensiones físicas del modelo, se presentan en la figura 57.

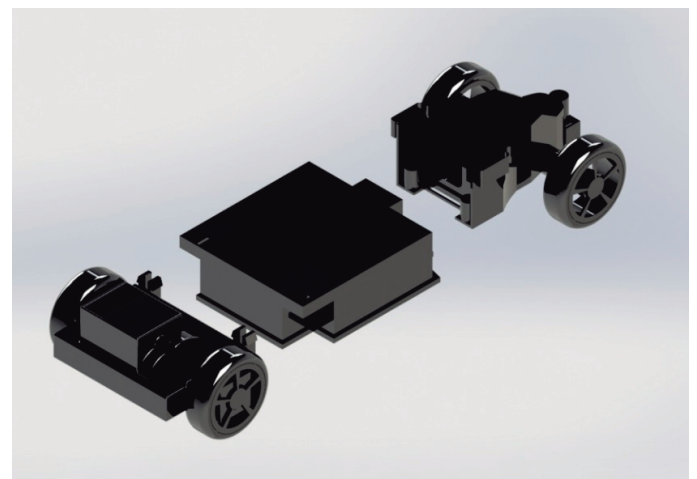


Figura 64. Dimensiones del modelo a escala

Cumplimiento de los criterios de verificación:

En la tabla 4, se muestran los criterios que debe cumplir el modelo a escala del vehículo. De esta manera, se verifica a continuación el cumplimiento de estos.

Tabla 4. Criterios de verificación: modelo a escala

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El modelo responde a las características autónomas del circuito e interactúa con su entorno (estación de simulación).
Posibilita la visualización de la circuitería interna.	Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico
Brinda un acceso simple a la circuitería interna del sistema	Brinda suficiente información sobre el uso correcto de estos accesos y no requiere más de una herramienta.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El diseño puede readaptarse a otras representaciones o funciones fácilmente..
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	La construcción del modelo prevé la posibilidad de transformarse o evolucionar en futuras etapas..
Contempla la portabilidad del sistema.	Es almacenable, tiene un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

Parámetro: El modelo responde a las características autónomas del circuito e interactúa con su entorno.

El modelo se comunica a través de señales por radio frecuencia con los módulos dinámicos que componen el entorno, esto se complementa con el uso de un LED en ambas partes que se enciende cuando se dio esa comunicación. Además, con el subsistema de control, le permite al usuario navegar por las rutas determinadas y comprender las señales que está percibiendo.

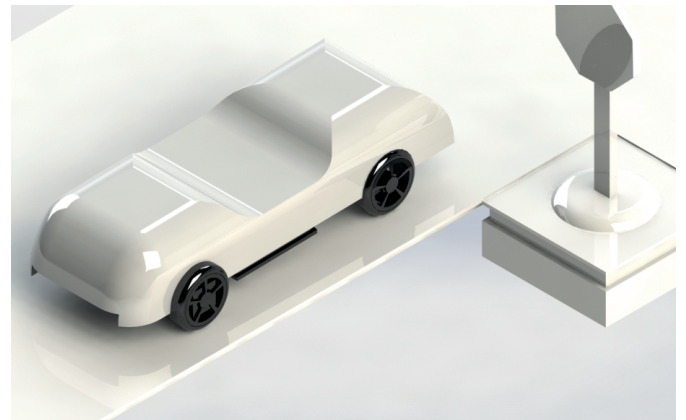


Figura 56. Interacción de los módulos dinámicos con el modelo del vehículo

Parámetro: Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico

El diseño chasis - carcasa permite que con solo retirar la carcasa, el usuario pueda visualizar y acceder a las partes internas.

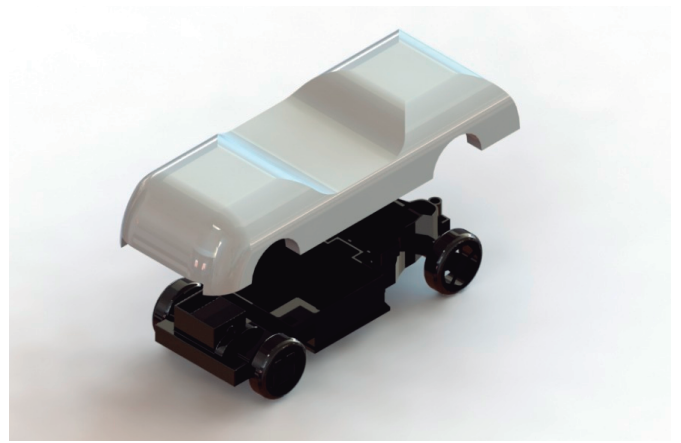


Figura 65. Explosión del modelo a escala del vehículo

Parámetro: Brinda la suficiente información sobre el uso correcto de los accesos y no requiere más de una herramienta.

Como se mencionaba en el análisis de la estación de simulación, en todo el diseño se buscaba reducir la cantidad de piezas, además de usar formas reconocibles, familiares y simplificada que faciliten su curva de aprendizaje. Los accesos, entonces, se dan con solo desensamblar la carcasa, y los métodos de unión aplicados no requieren de herramientas. Finalmente, los puntos de unión pueden destacarse por su sistema de forma contra forma.

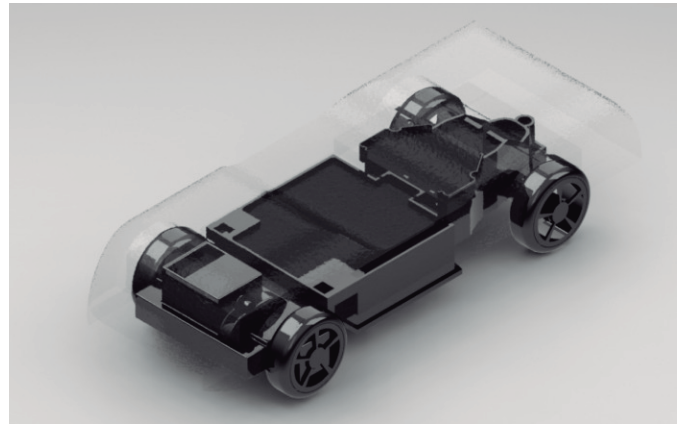


Figura 66. Corte del encaje de la carcasa con el chasis en el modelo del vehículo

Parámetro: La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada

Al igual que en el caso de los módulos dinámicos, los componentes electrónicos se encuentran centralizados en el compartimento para este fin. En el vehículo, este compartimento es la parte media del chasis y se conecta por medio de cables a los motores de tracción y dirección, estos no se encuentran soldados de manera permanente si no que se utilizan conectores macho-hembra. Por otro lado, los componentes que se ubican en el compartimento van sujetos a una estructura de soportes en los que se encajan los componentes, así, no se hace uniones permanentes, en el caso de que a futuro uno de ellos deba ser reemplazado o extraído por algún motivo.

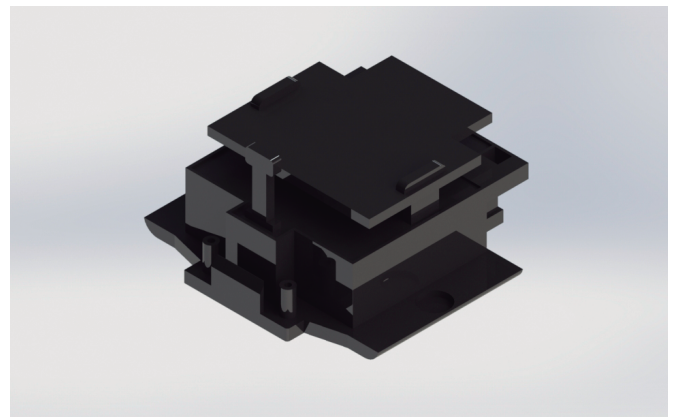


Figura 67. Soporte para el circuito en el compartimento del modelo a escala del vehículo

Parámetro: El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta

En general, en todo el sistema se utiliza la combinación de imanes con forma y contraforma como acople, por lo tanto las operaciones para el acceso, armado y desarmado no deberían ocupar ninguna herramienta. En cuanto al orden de armado, la simplificación y reducción de la cantidad de partes, hace que el proceso de armado consista en no más de tres pasos, que pueden resultar bastante familiares con cualquier otro producto que consista en un chasis y una carcasa.

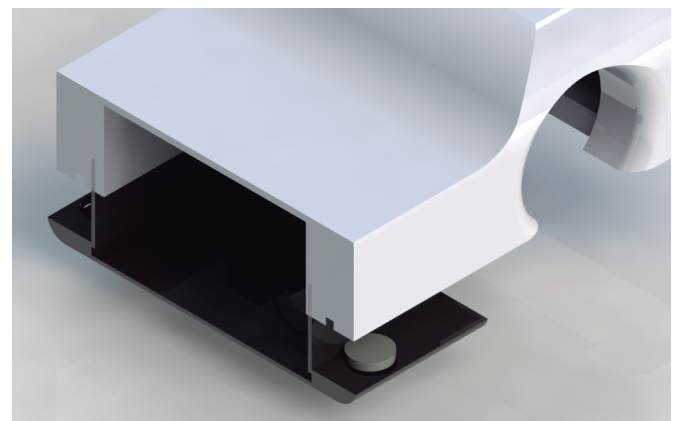


Figura 68. Acople entre el chasis y carcasa del modelo a escala del vehículo

Parámetro: El diseño puede readaptarse a otras representaciones o funciones fácilmente

En la construcción del chasis, existen tres módulos: el módulo de tracción, contiene el motor que da la propulsión a las llantas traseras; el módulo de dirección, este lleva el motor que gira las llantas a izquierda o derecha; y el compartimento para la circuitería, este es el que porta el circuito electrónico pero también da la longitud al vehículo para el modelo que este representa entonces. Al haberlas diseñado para ser desensamblables, estas se podrían reemplazar por otras que cumplan con las dimensiones para representar un bus por ejemplo, entre otras opciones. En cuanto las funciones, la idea es que el investigador pueda acceder al circuito para manipular los componentes electrónicos y variar su programación si fuera necesario.

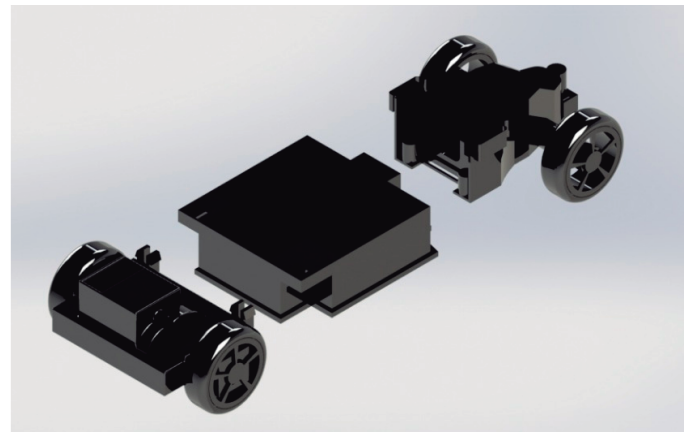


Figura 69. Exploso de la composición del chasis del modelo del vehículo

Parámetro: La construcción del modelo prevé la posibilidad de transformarse o evolucionar en futuras etapas.

Este parámetro se relaciona con el anterior, pues la construcción del chasis del vehículo se separó en módulos ensamblables para precisamente, permitir ese juego con las posibilidades de vehículos que se podrían necesitar representar.

Parámetro: Es almacenable, tiene un peso y ocupa un volumen medio, toma en cuenta la facilidad de apilamiento.

Al igual que el resto del sistema, este también está pensado para construirse en filamento ABS, o PLA si fuera el caso por cuestiones de disponibilidad, esto, lo vuelve bastante liviano y resistente. Además el chasis es totalmente desensamblable por lo que podría optimizar el espacio de almacenamiento.

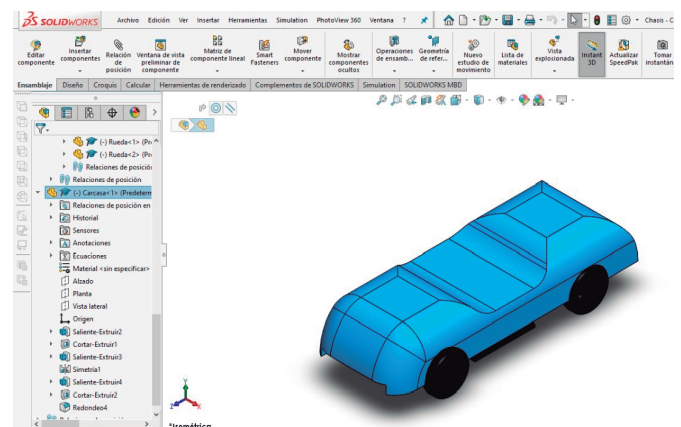


Figura 70. Modelado virtual del modelo a escala del vehículo

Subsistemas secundarios (funcionales)

- Ubicación:

Como se mencionaba anteriormente, una de las características que portan los vehículos autónomos es su capacidad de ubicarse en el entorno. Esto, en la realidad, se realiza por medio de sistemas de ubicación por GPS. Sin embargo, para este sistema, no resultaba viable la implementación de este método de ubicación, pues la escala de reducción generaría imprecisión en los puntos de geográficos.

Entonces, se proponen dos soluciones. La primera, es para implementación inmediata, pues por el momento, el vehículo se encuentra en un nivel de autonomía 3, es decir, todavía no está preparado para conducirse por su cuenta. Sin embargo, es necesario que él sepa identificar el momento en el que llegó a su punto de llegada. Entonces, la propuesta consiste en cumplir con esta función por medio de la comunicación entre los módulos dinámicos de ubicación y el vehículo a escala. De manera que, el usuario coloca los módulos para marcar el inicio y fin del recorrido, estos emiten una señal y cuando el vehículo esté lo suficientemente cerca, podrá identificarla como el punto de llegada y, entonces se detendría su conducción. El diseño para esta implementación se muestra en la figura 71.

La segunda solución, es para más largo plazo, pues requiere de un proceso de investigación y desarrollo. Consiste en diseñar un sistema de ubicación que sea la aproximación de la tecnología GPS en una escala de reducción como la del sistema. Entonces, por medio de una matriz se podrían generar puntos o coordenadas que identifiquen los sitios "geográficos" en el sistema. Estos puntos, deben ser cargados a la programación del vehículo para que, al ubicarse en un punto, pueda generar una proyección imaginaria (por medio de los puntos) del espacio a su alrededor y así, ser capaz de generar las posibles rutas para llegar al destino. Esta propuesta, requiere de un proceso de validación técnica y teórica, además de todo el proceso de investigación y diseño para su implementación real. Sin embargo, se considera que es una propuesta válida de fácil adaptación al sistema actual.

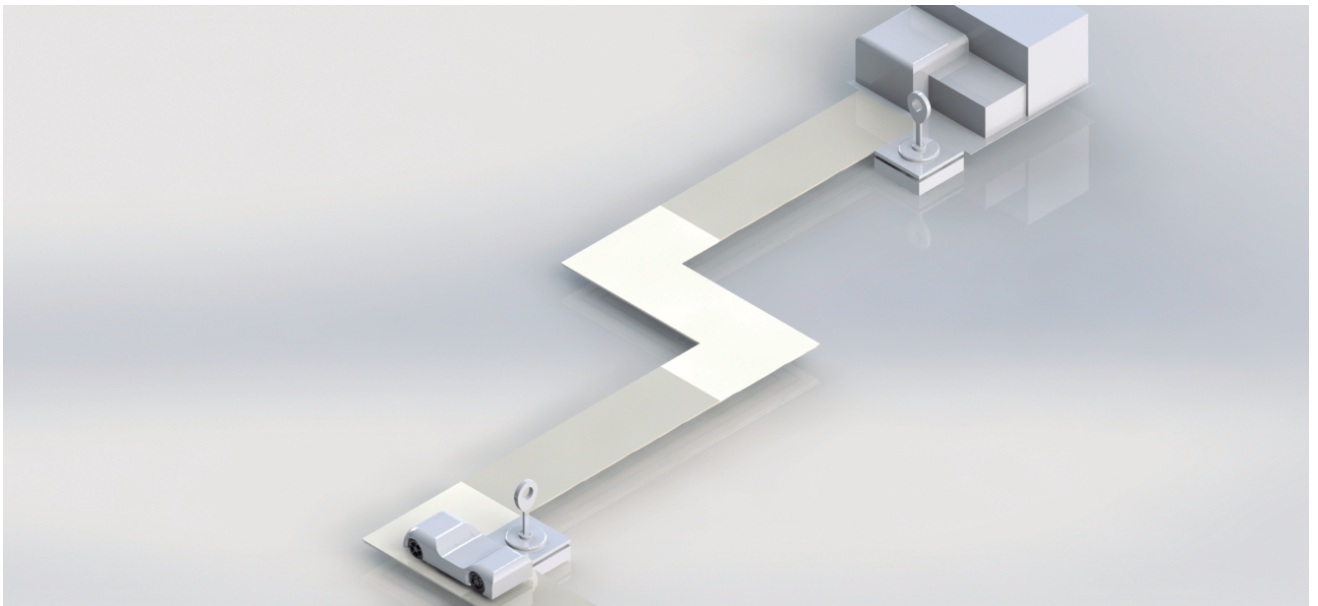


Figura 71. Subsistema de ubicación por medio de los módulos dinámicos

Cumplimiento de los criterios de verificación:

A continuación se muestra la tabla con los criterios de verificación para el subsistema de ubicación. Con esta información, se revisa el diseño propuestos para evaluar su cumplimiento.

Tabla 5. Criterios de verificación: ubicación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos..
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema demuestra la interpretación del espacio y la ruta con las marcas de salida y llegada que hace el vehículo.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso..	La matriz de ubicación es adaptable a los distintos escenarios en los que ese debe desenvolver el vehículo.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades..	La matriz de ubicación permite la adaptación de nuevos módulos o partes..

Parámetro: El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos.

Como módulos dinámicos, los puntos de ubicación estaría equipados con una luz LED que, al entrar en contacto con el receptor del vehículo, se encendería para confirmar la emisión de la señal. Adicionalmente, la interfaz que se propone como necesaria para el diseño, debe poder comunicar lo que el vehículo ha percibido cuando recibe una señal.

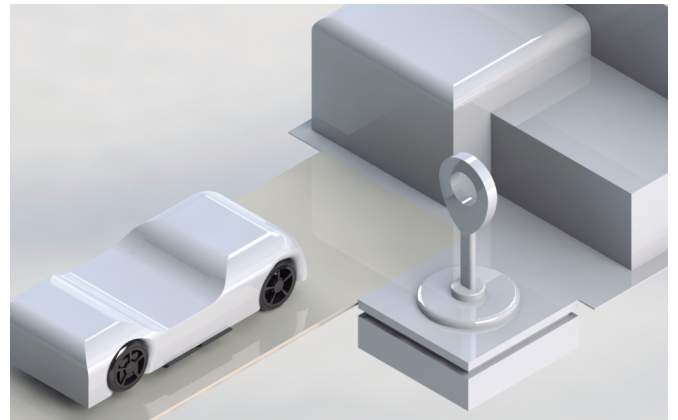


Figura 72. Interacción de los puntos del ubicación con el modelo del vehículo

Parámetro: El sistema demuestra la interpretación del espacio y la ruta con las marcas de salida y llegada que hace el vehículo.

Esta función queda planteada de forma teórica con la segunda propuesta de solución, explicada en el apartado anterior, para una implementación futura. Esto, pues por el momento no se cuentan con los recursos ya que supone todo un proceso de investigación aparte.

Parámetro: La matriz de ubicación es adaptable a los distintos escenarios en los que ese debe desenvolver el vehículo.

Para esta instancia, la matriz la componen los mismos módulos de ruta, pues el vehículo no está listo para la navegación completamente autónoma. Esto hace, que se puedan reconfigurar según sea la necesidad de prueba y el usuario, como conductor, pueda dirigirlo en los distintos escenarios.



Figura 73. Ruta con módulos de punto de partida y llegada

Parámetro: La matriz de ubicación permite la adaptación de nuevos módulos o partes.

Como se explicaba en el segmento anterior, por el momento, la matriz la componen los mismo módulos de ruta, en conjunto con los módulos dinámicos de ubicación. Esto hace que la incorporación de nuevas partes sea a través de la manufactura de nuevos módulos y, si fuera necesario, la reprogramación de los circuitos.

- **Lectura del entorno:**

La lectura del entorno se realiza por medio de los módulos dinámicos. Como se explicaba anteriormente, estos son los encargados de emitir señales (radiofrecuencia) que el vehículo recibe, y traduce como comandos que deberá interpretar para la toma de decisiones sobre su conducción.

En el nivel 3 de autonomía, el papel del conductor no ha sido eliminado, sin embargo el vehículo debe ser capaz de tomar decisiones cuando en caso de que el conductor no pueda reaccionar ante una situación.

En el sistema, se busca que el vehículo replique este comportamiento, al ser manejado por control remoto por el investigador. En el momento en el que recibe una señal, debe interpretarla y, posteriormente, actuar en consecuencia.

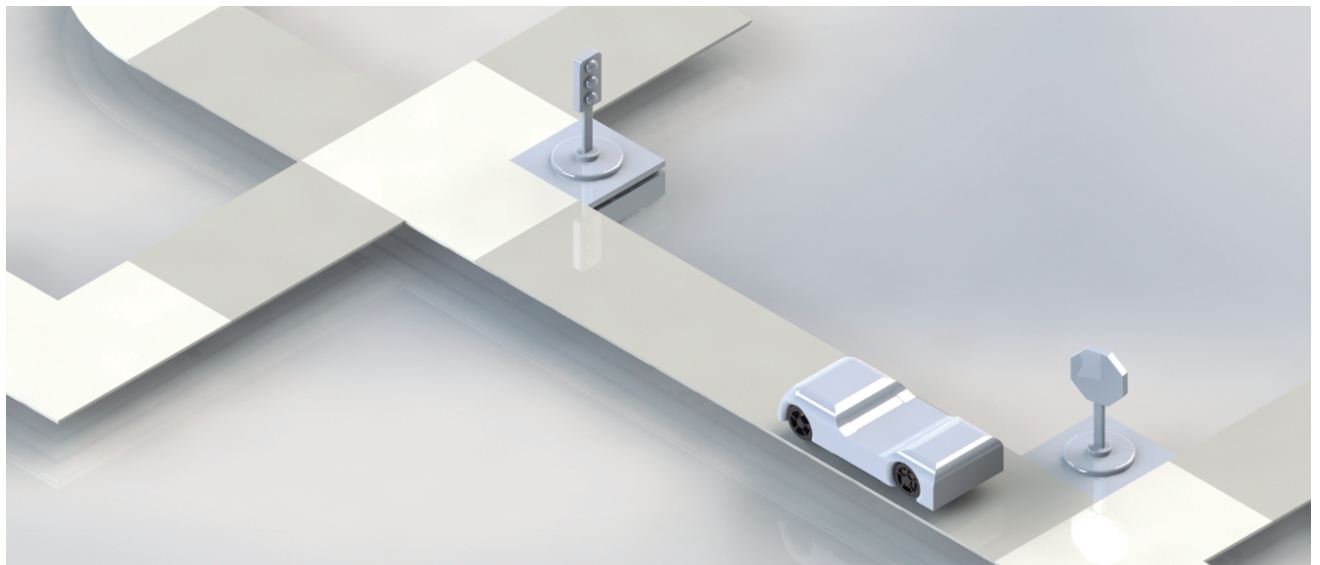


Figura 74. Subsistema de lectura del entorno por medio de los módulos dinámicos

Cumplimiento de los criterios de verificación:

La tabla de criterios de verificación que presenta a continuación, muestra los parámetros en los que se estimó, al inicio del proceso de investigación, que debía cumplir este subsistema para satisfacer los requerimientos. Esta verificación se realiza al compararlos con el diseño propuesto.

Tabla 6. Criterios de verificación: lectura del entorno

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos.
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema demuestra la lectura del entorno y lo refleja en el comportamiento del vehículo.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso..	Los módulos dinámicos dan la facilidad de adaptarse según la necesidad del usuario para aplicar al vehículo.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades..	Los módulos dinámicos son escalables y su proceso de manufactura es trazable.

Parámetro: El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos.

Como se explicaba anteriormente, la capacidad de lectura del entorno se resuelve por medio de los módulos dinámicos cuando entran en contacto con el vehículo. El usuario, puede comprobar el funcionamiento de estos, al verificar el comportamiento del vehículo en su conducción, además de las señales como la luz LED y la interfaz de control.

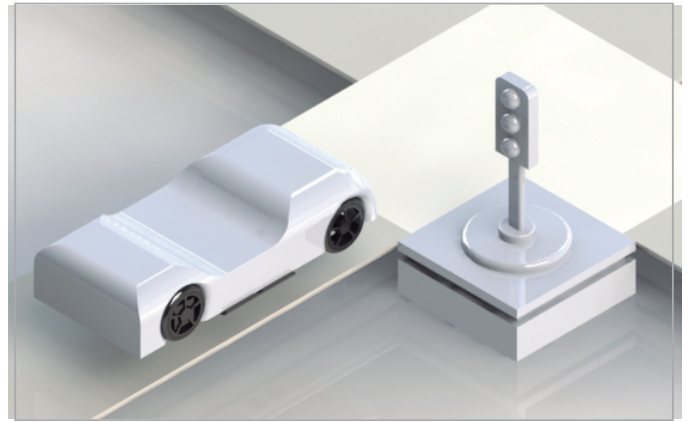


Figura 75. Retroalimentación sobre el funcionamiento de los circuitos para la lectura del entorno

Parámetro: El sistema demuestra la lectura del entorno y lo refleja en el comportamiento del vehículo.

La capacidad para actuar en consecuencia, tras recibir una señal de los módulos dinámicos, es una cuestión de la programación del vehículo. Es decir, la capacidad de razonamiento que brinda el circuito al vehículo, depende del desarrollo de esta programación. Por este motivo, se depende del progreso de esto para ver reflejada una mayor autonomía en la toma de decisiones del vehículo. Para esta instancia del proyecto, se refleja la lectura del entorno por medio de señales como la luz LED, la interfaz y algunas reacciones básicas a las señales recibidas.



Figura 76. Módulos dinámicos como representación del entorno

Parámetro: Los módulos dinámicos dan la facilidad de adaptarse según la necesidad del usuario para aplicar al vehículo.

Como se ha descrito anteriormente, los diseños para los módulos de ruta permiten generar múltiples configuraciones del espacio, a las que se pueden adaptar los módulos dinámicos para la verificación del funcionamiento según sean las pruebas que se desean aplicar.

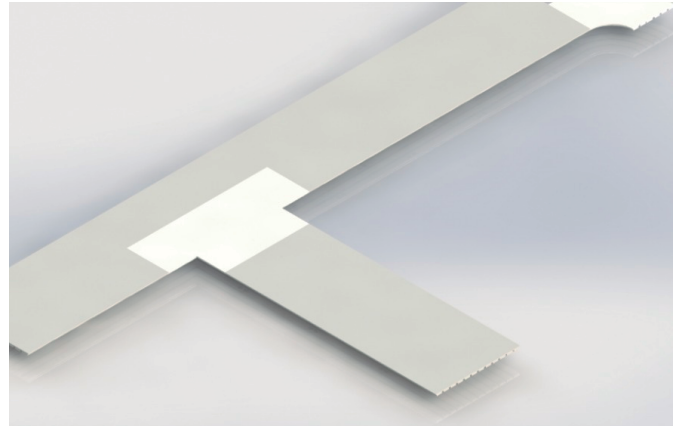


Figura 60. Variedad de diseños de los módulos de ruta

Parámetro: Los módulos dinámicos son escalables y su proceso de manufactura es trazable.

Tal y como se explicaba en el análisis de la estación de simulación como subsistema (página 57). Los módulos dinámicos se diseñaron de manera que la estructura se mantiene y lo que cambia es la programación del circuito y el diseño del símbolo para su representación. Esto, además de la manufactura por impresión 3D, hace que agregar nuevos módulos sea sencillo.

Subsistemas terciarios (operativos)

- Acople y acceso

Estos dos subsistemas se agrupan pues están íntimamente relacionados. El acceso corresponde a las operaciones por las que debe pasar el usuario para entrar en contacto con las partes internas del sistema. El acople, por otro lado, es el medio por el cuál se logra el ensamble y desensamble de las piezas. Siendo así, entre las operaciones para permitir el acceso, es usuario entra en contacto con los sistemas de acople.

Primero, es importante mencionar que, entre todas las opciones analizadas, los acoples por medio de imanes que representan gran ventaja pues no presentan el desgaste mecánico que podría haber en algunas de las otras alternativas.

Estos, son magnetos de discon de 10mm de radio con un espesor de 2 mm, cuentan con un recubrimiento en níquel y son considerablemente fuertes para su tamaño.



Figura 77. Ejemplo de los magnetos para el acople

Esta solución, se prestaba para cumplir con su función sin embargo, para proporcionar estabilidad y seguridad en los acoples, era necesario eliminar el desplazamiento y torque. Entonces, se decide complementar el sistema de acople, con un punto más de contacto pero siendo este por forma y contraforma.

Es así, como se llega al diseño de un módulo de unión que, además de brindar el acople, sirve también para darle la altura a los módulos de ruta y de escenario para quedar a nivel con lo módulos dinámicos, pues su estructura los eleva aproximadamente unos 3 cm.

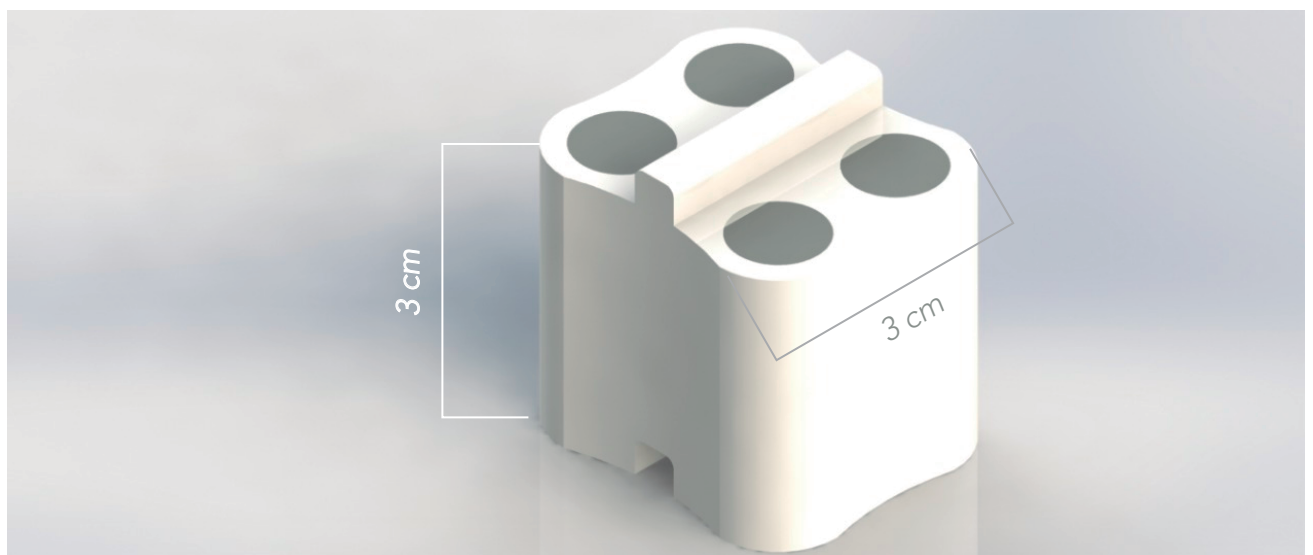


Figura 78. Módulo de unión y sus dimensiones

Para los accesos, se tiene dos partes esenciales: la estructura chasis-carcasa, esta se aplica tanto en el modelo del vehículo como en los módulos dinámicos, sabiendo entonces que con la mínima cantidad de pasos se puede acceder a su contenido, pues es necesario únicamente, retirar la carcasa. La segunda parte son los puntos de unión, que se mantienen igual que en los módulos de ruta sin embargo no se utiliza una pieza adicional, si no que la misma composición de magnetos y forma-contraforma se aplica al chasis y carcasa del vehículo y, en el caso de los módulos dinámicos, a la superficie y el contenedor, así como se muestra en la figura a continuación.

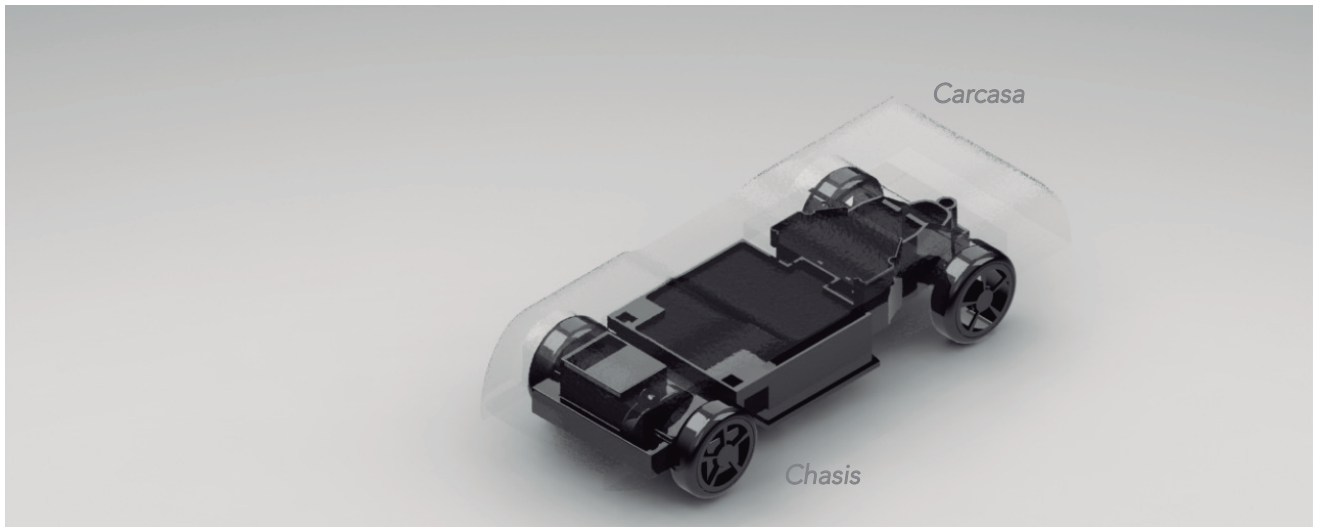


Figura 79. Acceso a las partes internas de los sistemas

El funcionamiento de ambos es bastante sencillo, pues basta solamente con aplicar una ligera fuerza en direcciones opuestas para romper con el campo magnético generado por los imanes. Esto, reduce bastante la curva de aprendizaje pues el proceso puede resultar bastante intuitivo sin conocer a profundidad el sistema.

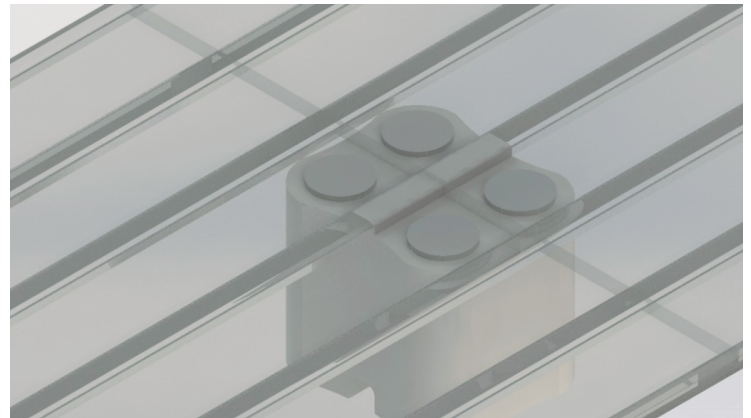


Figura 80. Funcionamiento de los acoples

Cumplimiento de los criterios de verificación:

En la siguiente tabla, se muestran nuevamente los parámetros para valorar el cumplimiento de los requerimientos para el subsistema de acople y acceso. Esta validación se expone a continuación.

Tabla 7. Criterios de verificación: acople y acceso

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	Se le da acceso al usuario para verificar conexiones y el estado de los componentes internos.
Posibilita la visualización de la circuitería interna.	Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico
Brinda un acceso simple a la circuitería interna del sistema.	Brinda suficiente información sobre el uso correcto de estos accesos y no requiere más de una herramienta.
Anticipa la integración, ajuste y recambio de partes y componentes.	La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada (pistas libres y uniones no permanentes.).
El acople entre las partes y componentes es sencillo e intuitivo.	El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los accesos y acoples existentes no se verían obstaculizados por la incorporación de nuevas partes.
Contempla la portabilidad del sistema.	Los acoples y uniones del sistema facilitan la adaptación del sistema al proceso de almacenamiento y portabilidad.

Parámetro: Se le da acceso al usuario para verificar conexiones y el estado de los componentes internos.

Por medio del sistema chasis - carcasa en el modelo del vehículo y compartimento - superficie de los módulos dinámicos, el investigador puede acceder a las partes internas y verificar conexiones y componentes internos.

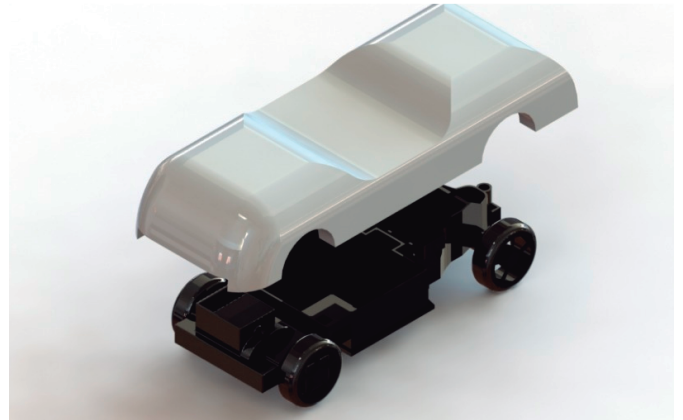


Figura 81. Sistema chasis - carcasa del modelo del vehículo

Parámetro: Da la opción al usuario de visualizar su composición a nivel electrónico

De igual forma, al remover las carcasas o superficies, el investigador puede visualizar la composición electrónica de los circuitos.

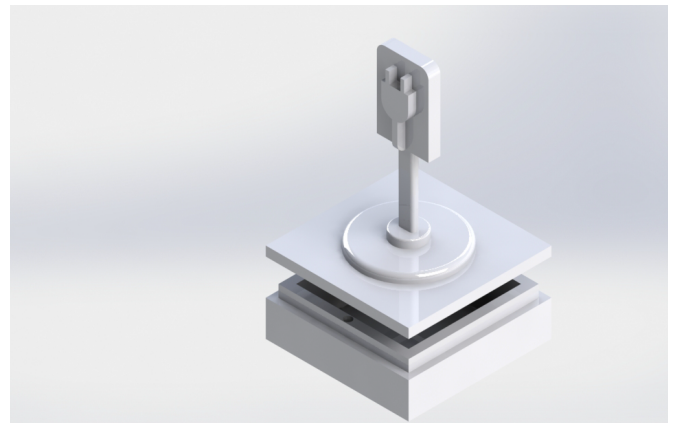


Figura 82. Sistema chasis - carcasa del módulo dinámico

Parámetro: La interacción con los componentes no se ve obstaculizada o limitada

Ambos compartimentos, el del vehículo y el de los módulos dinámicos, vienen equipados con una estructura para sostener el circuito si fijarlo de manera permanente. Además, el usuario puede acceder a estos con solo remover la carcasa.

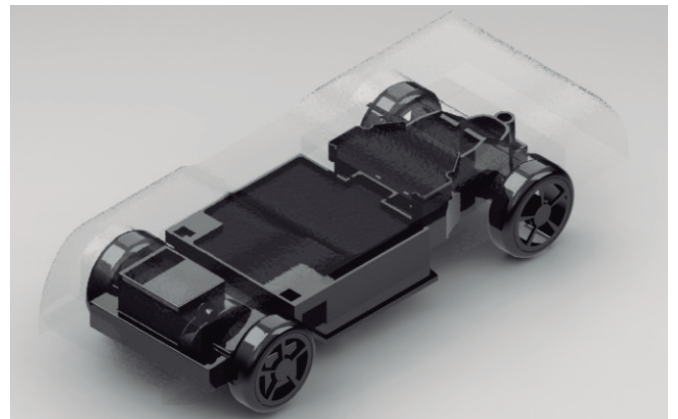


Figura 83. Demostración del acceso al compartimento del vehículo

Parámetro: El orden de armado es lógico y no requiere más de una herramienta.

La disposición de los elementos hace que, a través de las formas y texturas, sea fácil reconocer los puntos de acople. Además, al simplificar el sistema, no es necesario el uso de herramientas.

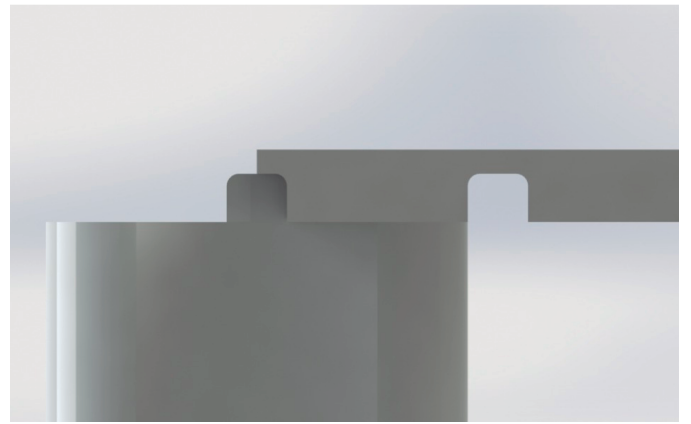


Figura 84. Acople en el módulo de ruta

Parámetro: Los accesos y acoples existentes no se verían obstaculizados por la incorporación de nuevas partes.

Los sistemas de unión fueron estandarizados para todo el sistema, por lo tanto los mismos módulos de unión serían capaces de funcionar para nuevas partes, si estas se diseñaran siguiendo este método.

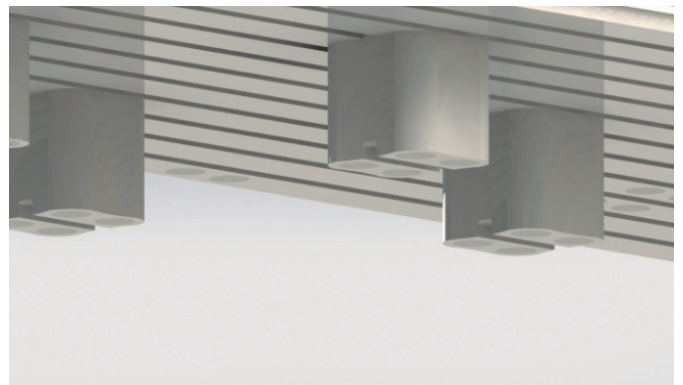


Figura 85. Vista inferior de la estación de simulación con los módulos de acople

Parámetro: Los acoples y uniones del sistema facilitan la adaptación del sistema al proceso de almacenamiento y portabilidad.

Los módulos de unión fueron diseñados de manera simétrica, por lo que cuentan con la capacidad de ser apilables.

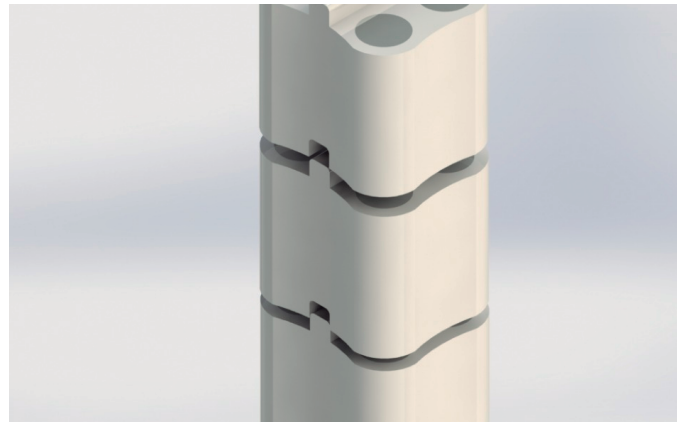


Figura 86. Módulos de unión apilados

- Comunicación y retroalimentación

Para comenzar, la comunicación entre las partes se da por medio de la transmisión de señales de radio frecuencia entre los módulos de ruta y el modelo del vehículo. De manera que, el módulo dinámico, activo, emite una señal constante, cuando el vehículo entra en el rango, percibe esta señal. El receptor la transmite al procesador, el cual procesa la información y actúa en consecuencia, según sea la programación que se le haya dado.



Figura 87. Diagrama de la comunicación y retroalimentación dentro del sistema.

En cuanto a la retroalimentación, esta se da en dos sentidos. En la parte física, a través de la luz que emiten los LEDs colocados tanto en los módulos dinámicos como en el vehículo. Una vez que la señal fue transmitida, se enciende para comunicar su correcto funcionamiento. En segundo lugar, se da dentro de la interfaz de control. Esta, se explica más a detalle en el subsistema de control. Lo que se propone es el uso de una sola interfaz para ejercer el control del vehículo pero también para obtener más información de los procesos de prueba. Esto se lograría por medio del módulo de bluetooth, que toma los comandos ejercidos por el procesador del vehículo y los refleja en la pantalla en un lenguaje de fácil comprensión para las partes interesadas. El diseño y programación de esta interfaz para implementarse en el sistema conforma por sí solo un proceso de investigación y desarrollo colateral, por lo que queda fuera del alcance de este proyecto, sin embargo se deja propuesta esta idea de solución.

Cumplimiento de los criterios de verificación:

Se realiza a continuación la comparación entre el sistema propuesto y los criterios de verificación expuestos en la siguientes tabla.

Tabla 8. Criterios de verificación: comunicación y retroalimentación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Permite comprobar el funcionamiento de los circuitos.	El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos..
Permite visualizar el comportamiento autónomo del vehículo.	El sistema comunica la interpretación y lectura que hace el vehículo y cómo debería actuar en consecuencia.
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio (ruido, iluminación, recursos...)
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los mecanismos de comunicación entre dispositivos están preparados para adecuarse a nuevas partes y componentes.
Facilita la interacción y manejo de las partes del sistema por parte del usuario.	La información que brinda es de fácil lectura y permite al usuario actuar en consecuencia con naturalidad.
Contempla la portabilidad del sistema.	Las conexiones y dispositivos son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

Parámetro: El sistema brinda retroalimentación al usuario sobre el funcionamiento de los circuitos.

En la parte física lo hace a través del sistema de luces LED que se encienden cuando hubo una conexión efectiva. En la interfaz, se considera que se podría cumplir por medio de un historial de actividad a nivel de circuitos, donde el investigador pueda "retroceder en el tiempo" de la aplicación de la prueba para verificar estado y actividad.

Parámetro: El sistema comunica la interpretación y lectura que hace el vehículo y cómo debería actuar en consecuencia.

Este requisito se cumple de manera parcial, pues en esta instancia, la retroalimentación se hace por medio del sistema físico, por lo que las acciones propias del vehículo al andar en el entorno podrían ser una señal de funcionamiento. Por otro lado, se prevé la implementación de una interfaz de control y registro de datos, donde se pueda ir viendo en tiempo real los "pensamientos" y conducta del vehículo y, de manera deseable, contar con el registro y procesamiento de estos datos.

Parámetro :Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio.

En la parte física del sistema, se brinda autonomía a los módulos dinámicos y al vehículo al utilizar cada uno su propia batería, esto facilita el traslado a otros entornos. En cuanto a la futura implementación de una interfaz gráfica, se recomienda que sea diseñada para dispositivos móviles como una tableta, pues esta permitiría el desplazamiento al usuario, así como poder dividir su atención entre la parte física y virtual.

Parámetro: Los mecanismos de comunicación entre dispositivos están preparados para adecuarse a nuevas partes y componentes.

La implementación de nuevos módulos dinámicos u otro vehículo no sería un problema, pues es cuestión de implementar el circuito o reprogramar uno existente. Además, en la estación de simulación, las estructuras están estandarizadas por lo que menor cantidad de piezas impresas, pueden servir para representar más cantidad de situaciones. Es decir, no es necesaria la impresión de toda la estructura, solo la adaptación de esta para su nueva función.

Parámetro: La información que brinda es de fácil lectura y permite al usuario actuar en consecuencia con naturalidad.

Por el momento, este parámetro no aplica, sin embargo, cuando se cuente con una interfaz gráfica, es importante facilitar la lectura del espacio para el investigador por medio de la diferenciación de señales, pues al ser un sistema grande, sería de mucho provecho poder identificar de manera ágil el significado y ubicación de la señal o dato emitido.

Parámetro : Las conexiones y dispositivos son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

La comunicación por radiofrecuencia y bluetooth permite desentenderse de cables y conexiones entre las partes.

- Control

Los comandos de control, por el momento se estarían emitiendo por medio de la conexión Bluetooth, al enviar comandos básicos de avance, frenado, derecha o izquierda desde un dispositivo, el vehículo responde en consecuencia. Esta solución es de carácter temporal, pues se espera que el circuito evolucione hasta lograr la autonomía total en la conducción del vehículo, desapareciendo estos comandos de navegación y surgiendo, entonces, la necesidad de otros. Por este motivo, se refuerza la recomendación para la implementación de una interfaz gráfica, en un dispositivo móvil, tableta por ejemplo, que funcione también como control remoto del vehículo y así, con el paso del tiempo, puedan ir actualizándose en prestaciones para resolver las nuevas urgencias.

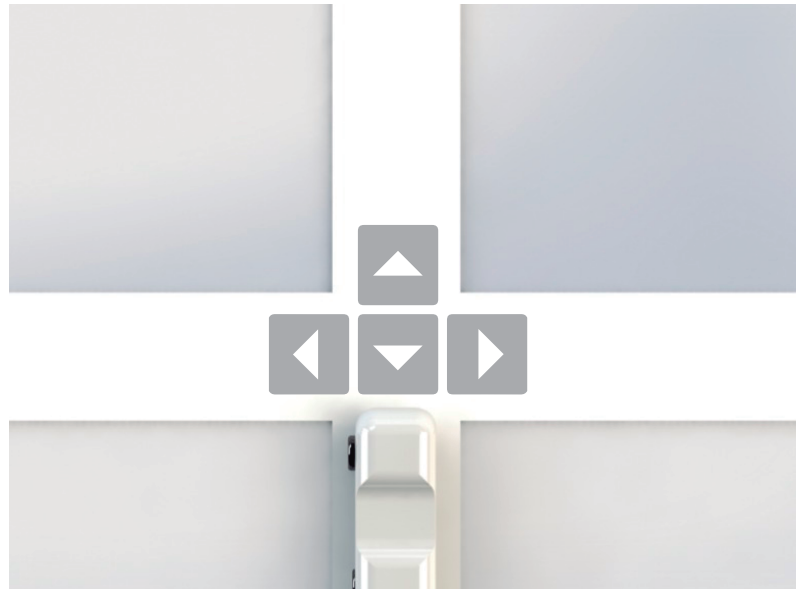


Figura 88. Representación de los comandos de navegación actuales

Cumplimiento de los criterios de verificación:

Los criterios de verificación para este subsistema se describen en la Tabla 9, sin embargo, es necesario a clarar que este subsistema es uno de los casos que se condiciona a nivel teórico, pues es de tal magnitud que es necesario un proceso proyectual colateral para poder implementarla en este sistema. Por este motivo, en esta sección se propondrán algunas recomendaciones para su futura implementación.

Tabla 9. Criterios de verificación: control

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio (ruido, iluminación, recursos...)
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	La programación a nivel de control del sistema queda preparada para la incorporación de nuevas partes.
Facilita la interacción y manejo de las partes del sistema por parte del usuario..	Los comandos para la operación del sistema son accesibles para el usuario de forma natural y intuitiva.
Contempla la portabilidad del sistema.	Los dispositivos de control son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

Parámetro: Contempla la posibilidad de usarse en diferentes condiciones del espacio

La portabilidad de los controles es necesaria, pues el investigador puede requerir de desplazamientos para poder cumplir con sus funciones. Por este motivo, se propone como solución la implementación de un programa de control para un dispositivo móvil, como una tableta.

Parámetro: La programación a nivel de control del sistema queda preparada para la incorporación de nuevas partes.

Este parámetro, aplica para el caso en el que se requiera de más de un vehículo a la vez, esto necesitará entonces la posibilidad de añadir vehículos al sistema de control o, bien, conectar dos o más dispositivos de control remoto al mismo sistema de simulación.

Parámetro : Los comandos para la operación del sistema son accesibles para el usuario de forma natural y intuitiva.

Por el momento, se utilizan los comandos básicos de flechas, sin embargo para la implementación de una interfaz gráfica se recomienda el análisis de las herramientas que serían necesitadas para cada escenario de prueba.

Parámetro : Los dispositivos de control son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

De nuevo, entonces surge la recomendación de utilizar una plataforma virtual para el control en un dispositivo móvil.

- Alimentación

Un aspecto importante para tomar la decisión sobre el recurso eléctrico fue la portabilidad y, al buscar un sistema reconfigurable, la conducción de cables causaría una gran limitación. Por este motivo, se opta por el uso de baterías recargables, de iones de litio, para darle autonomía a los módulos dinámicos y al vehículo eléctrico. Pues, es siendo así, con solo extraer la batería esta se podría recargar, aún cuando no se esté usando el sistema.

Cumplimiento de los criterios de verificación:

Los criterios para la verificación del cumplimiento de los requisitos para el sistema, se exponen en la tabla 10. Posteriormente, se justifica cómo el sistema responde ante estas demandas.

Tabla 10. Criterios de verificación: alimentación

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	Evita las conexiones permanentes que puedan limitar los escenarios de uso.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	Los dispositivos utilizados para la alimentación del sistema se pueden adaptar o cambiar según la necesidad de este.
Contempla la portabilidad del sistema.	Las conexiones son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

Parámetro: Evita las conexiones permanentes que puedan limitar los escenarios de uso.

En general se evitan las conexiones permanentes de los componentes electrónicos, pues se entiende que estos podrían variar con el tiempo, por lo tanto se hace uso de conectores macho hembra. En el caso de las baterías es así, por medio de un adaptador, se brinda la alimentación al sistema.

Parámetro: Los dispositivos utilizados para la alimentación del sistema se pueden adaptar o cambiar según la necesidad de este.

Como se mencionaba anteriormente, todos los componentes electrónicos se podrían cambiar si fuera la necesidad, pues no existen uniones permanentes.

Parámetro : Los comandos para la operación del sistema son accesibles para el usuario de forma natural y intuitiva.

Por el momento, se utilizan los comandos básicos de flechas, sin embargo para la implementación de una interfaz gráfica se recomienda el análisis de las herramientas que serían necesitadas para cada escenario de prueba.

Parámetro: Las conexiones son desensamblables y ocupan un espacio razonable en el almacenamiento.

En este caso, las baterías son desensamblables en caso de que se quieran recargar o reemplazar y los contenedores de los circuitos, tanto en el vehículo como en los módulos dinámicos, son el sitio para su almacenamiento.

Portabilidad y almacenamiento

Este sistema de simulación está diseñado de manera que puede descomponerse en partes más pequeñas, lo cuál hace que se pueda optimizar el espacio en el almacenaje. También, es importante tomar en cuenta que la cantidad de piezas a transportar puede variar según sea la necesidad.

El diseño que se propone para la solución del almacenamiento de los módulos de ruta, consiste en una carcasa que se descompone en módulos apilables para aumentar o reducir el espacio disponible para el almacenaje. Estos espacios son de forma octagonal, pues la figura geométrica en la que se pueden inscribir las distintas representaciones de ruta. Se propone también, el uso de unas divisiones con las que puede delimitar el espacio para apilar varios módulos de la misma forma.

Para el almacenamiento de las otras piezas, módulos dinámicos, de escenario, de unión y el vehículo a escala, se propone un estuche tipo caja con segmentos en contraforma para cada tipo de pieza.

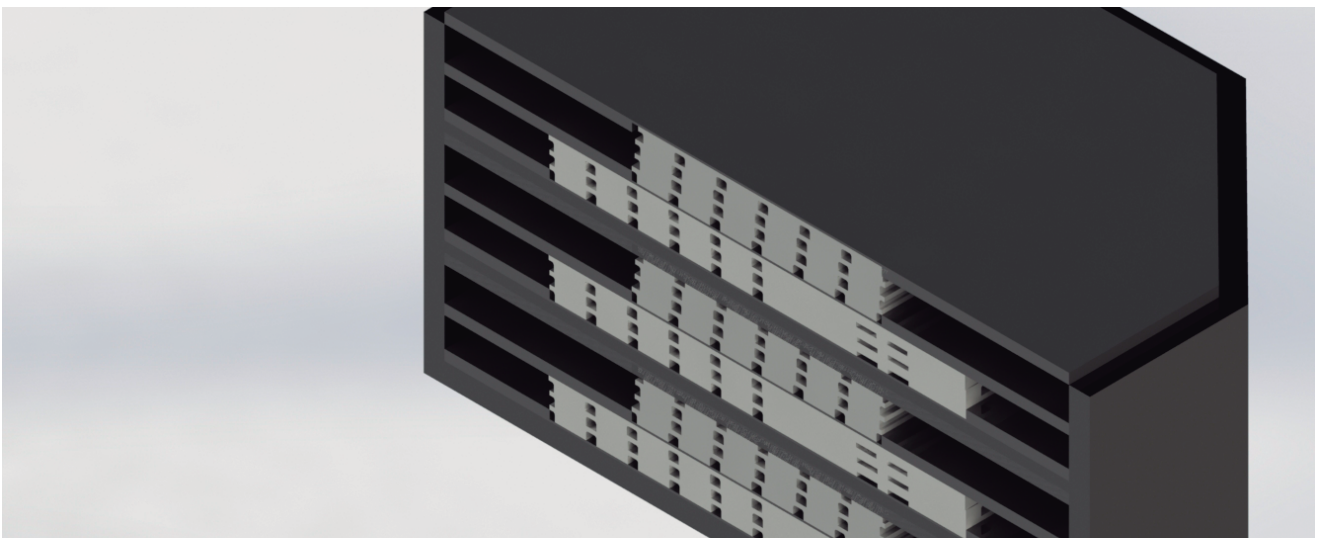


Figura 89. Subsistema de almacenamiento

Cumplimiento de los criterios de verificación:

Los criterios para la verificación del cumplimiento de los requisitos para el sistema, se exponen en la tabla 10. Posteriormente, se justifica cómo el sistema responde ante estas demandas.

Tabla 11. Criterios de verificación: portabilidad y almacenamiento

Requerimiento	Característica / Parámetro
Se adapta a un rango amplio de posibilidades de uso.	El mecanismo de almacenamiento es adaptable a la necesidad de uso del usuario.
Posibilita evolucionar en dimensiones y capacidades.	El diseño del almacenamiento se puede ajustar o modificar para aumentar o disminuir su capacidad.
Contempla la portabilidad del sistema.	El sistema, una vez almacenado, es de fácil manipulación para el usuario.
Provee una solución de almacenamiento sencilla e intuitiva.	El proceso de almacenamiento del sistema tiene un orden lógico y no requiere más de una herramienta.

Parámetro: El mecanismo de almacenamiento es adaptable a la necesidad de uso del usuario.

En cuanto a los módulos dinámicos, modelo a escala y módulos de acople, es más probable que su uso sea necesario en cualquier escenario de uso, sin embargo, los módulos de ruta requeridos pueden sí variar, por este motivo se propone un mismo contenedor de capacidad variable para su transporte.

Parámetro: El diseño del almacenamiento se puede ajustar o modificar para aumentar o disminuir su capacidad.

Como se explica anteriormente, en el caso de los módulos de ruta, se puede ajustar la capacidad de almacenamiento del contenedor.

Parámetro : El sistema, una vez almacenado, es de fácil manipulación para el usuario

Las dimensiones de los módulos fueron contempladas para facilitar su manipulación, aún estando almacenadas.

Parámetro: El proceso de almacenamiento del sistema tiene un orden lógico y no requiere más de una herramienta.

Las secciones por forma y contra forma hacen que el proceso de almacenamiento sea más intuitivo. Además los acoples son similares a los empleados en el sistema.

Guía para la implementación del sistema

1. Verificación y selección de la piezas:

Al momento de necesitar una pieza para el sistema, se debe contar con el programa SolidWorks, donde se podrán abrir los archivos de las piezas para verificar o modificar sus propiedades. En este sistema se debe exportar el documento en formato .STL para adaptarlo a la impresión 3D.

2. Impresión 3D de las piezas.

La impresión 3D es el método recomendado para la manufactura de este sistema, pues es una solución rápida y precisa para general las piezas.

El material recomendado es el ABS, pues es un filamento de alta resistencia y durabilidad.

3. Ensamblado de las piezas.

El ensamblado de las piezas es sencillo, solamente se deben adherir los magnetos en los orificios de las piezas que tiene este fin. Estos imanes se encuentran en tiendas de electrónica y tienen una dimensión de 10 mm de diámetro por 2 mm de grosor.

4. Incorporación de los circuitos electrónicos

En los compartimentos correspondientes, se adaptan los componentes a la estructura de soporte. Por medio del programa Arduino, se sube el programa a la placa.

5. Se configura el espacio

Según sea la necesidad de uso, se construye el entorno de simulación para la aplicación de las pruebas o demostraciones. Y el sistema estaría listo para su uso.

Nota importante

Para la implementación total del sistema, es necesario contar con una interfaz gráfica de control y registro de datos.

Cumplimiento de las expectativas de los usuarios



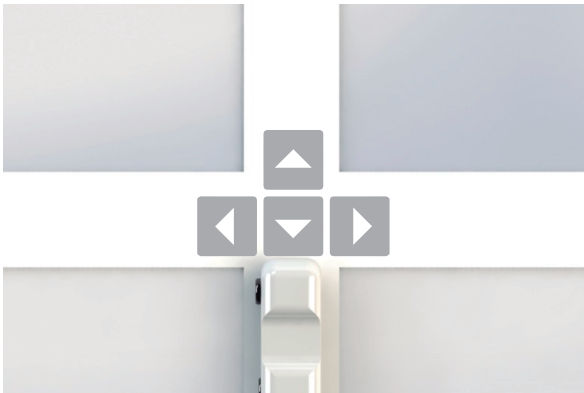
Demostrar el funcionamiento de los circuitos desarrollados por el laboratorio.



Esta demostración se logra al integrar los circuitos desarrollados por el laboratorio en los módulos dinámicos y en el modelo a escala del vehículo. Y conseguir, como resultado, que interactúen entre sí para demostrar las capacidades autónomas.



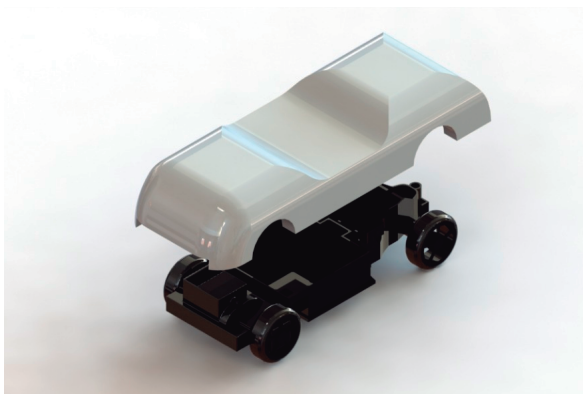
Probar la autonomía del vehículo a partir del nivel 3, es decir, la ubicación y lectura del entorno.



Esta autonomía se puede demostrar por medio de los módulos dinámicos, es decir, los puntos de ubicación, señales de tránsito y estaciones de recarga.



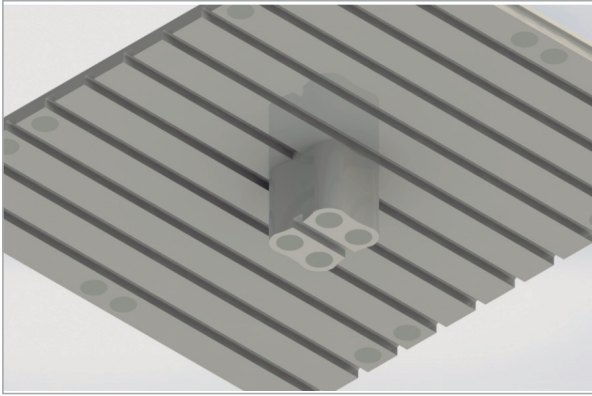
Posibilitar la visualización y acceso a la circuitería interna de los sistemas para demostraciones.



El diseño de las estructuras tipo chasis - carcasa tanto en el modelo del vehículo como en los módulos dinámicos, permite el rápido acceso a las partes internas de los sistemas.



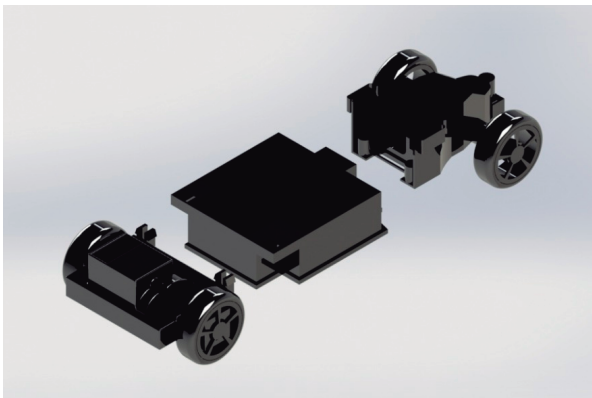
Proporcionar una acople sencillo entre las partes y componentes del sistema.electrónicos



El acople por medio de magnetos y guiado por forma y contra-forma, de manera estandarizada en el sistema simplican las operaciones de ensamblaje



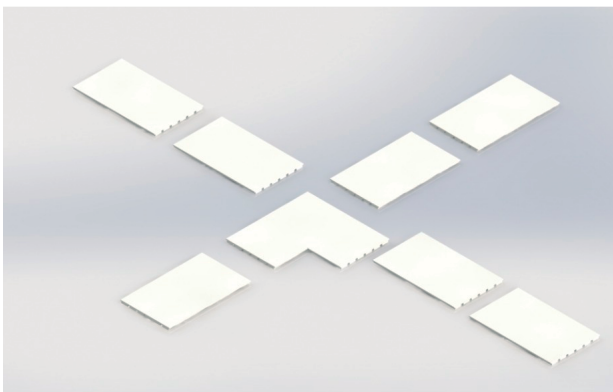
Anticipar la integración, ajuste y recambio de componentes electrónicos.



Los componentes electrónicos son contenidos en los compartimentos para este fin y se acoplan a esto por medio de una estructura de encaje, evitando así las uniones permanentes que impedirían estas tareas.



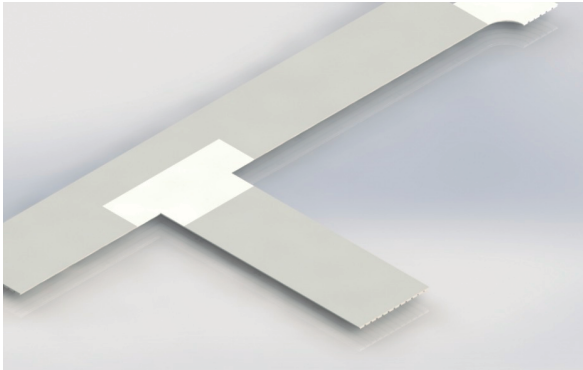
Brindar la posibilidad de evolucionar en dimensiones y capacidades según el avance de las investigaciones del laboratorio.



El diseño modular permite la integración de nuevas partes del sistema. Además, la manufactura por impresión 3D, facilita que la implementación de este pueda ser progresiva, según vaya evolucionando la necesidad.



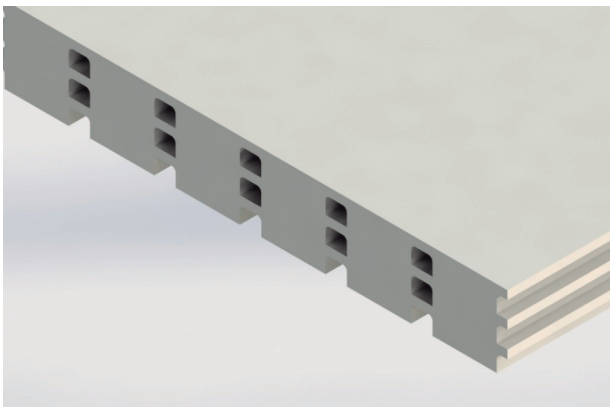
Permitir múltiples composiciones del espacio con el fin de facilitar distintas aplicaciones de uso.



El diseño por módulos y, en especial, el rango de posibilidades que brindan los módulos de ruta, capacitan la sistema para la reconfiguración del espacio



Facilitar la portabilidad y almacenamiento del sistema.



Los módulos y parte en general del sistema están diseñados para ser desensamblados y apilables, lo que optimiza el espacio para su almacenamiento. Además el material propuesto para su manufactura, es liviano y resistente.

Conclusiones y recomendaciones

Este proyecto requería de un proceso de diseño adaptado por su gran magnitud y también, pues no es un producto de consumo masivo o para una manufactura en serie. Es decir, es un producto personalizado, construido para satisfacer únicamente las necesidades de los miembros de LIVE. Para esto, se define una metodología de diseño por subsistemas. Por lo que se empieza por entender cada subsistema, funciones y requerimientos, para luego, solucionar cada uno. Surgiendo un gran desafío a la hora de ponerlos a funcionar juntos, como un solo sistema. Es importante, entonces, la parametrización que se realiza en función a los requerimientos pero adaptado a cada subsistema. De esta manera, se produce un mismo lenguaje al cumplir los mismos requerimientos según la función y el uso de cada subsistema

El resultado obtenido en este proceso consiste en la propuesta de un sistema que, bajo el concepto de “adaptabilidad modular”, se compone de subsistemas que, a la vez, se componen de partes o módulos para cumplir su función. Una de las características esperadas para el sistema, consistía en permitir esa adaptación según sea la necesidad de uso para el circuito, así como facilitar la constante interacción del usuario con las partes internas de los circuitos. Es ahí, dónde el concepto se fortalece, pues esta adaptabilidad modular, da la facilidad de reconfigurar el espacio y los acoples sencillos, dan esa facilidad de acceso al usuario.

El alcance que proyecta un sistema como este podría ser muy amplio. En este caso, se limitó a las necesidades actuales, directamente relacionadas con el modelo a escala del vehículo autónomo de recarga inalámbrica; sin embargo muchas de las posibilidades que ofrece el sistema, que se hallaron en el proceso, se dejan definidas de manera teórica para futuras implementaciones que surjan con el crecimiento de las investigaciones del laboratorio.

De igual manera, existen funciones que se contemplaron al inicio del proyecto sin embargo algunas limitaciones, propias del estado del circuito electrónico y su programación actual, no permiten su implementación real por el momento, aunque sí se prevé que se vaya producir. Entre esas está, la capacidad de ubicación autónoma del vehículo y la recarga inalámbrica del modelo a escala, está última, se plantea por el momento, en el sistema, como una tarea de lectura de los puntos de recarga y no de recargar su batería.

Casos similares se dan con los subsistemas de retroalimentación y control, pues para este, se recomienda la implementación de una interfaz gráfica que permita ejercer esas funciones. No obstante, esta se propone para un mediano plazo, pues requiere de un proceso proyectual independiente para resolver todas las necesidades encontradas en este proyecto.

En general, un sistema como este permite al laboratorio la exploración de otras temáticas relacionadas a las ciudades resilientes y la movilidad sostenible, temáticas principales que aborda LIVE, por este motivo, se dejan propuestas alguna soluciones para posibles necesidades, sin embargo, se opta por la impresión 3D para reducir la complejidad en la manufactura de los módulos de este sistema.

Para concluir, como recomendación, para el diseño de un sistema como este, donde se ve delimitado por aspectos físicos y técnicos y, donde la electrónica juega un papel tan importantes; se considera necesario el acceso a conocimientos técnicos y asesoría en paralelo al proceso de diseño. Además, es importante, tener claras las necesidades inmediatas así como las de mayor plazo, pues resulta de mayor valor un sistema que se pueda adaptar a los cambios originados por la evolución de las necesidades propias de un sistema de investigación. Esto, hace más considerable la inversión que implica generar un sistema como tal.

Bibliografía

¿Pueden los coches eléctricos salvar el planeta? (2019) Recuperado el 07 de septiembre 2019, del sitio web: <https://www.crestanevada.es/noticias-motor/Pueden-los-coches-electricos-salvar-el-planeta/62>

¿Qué es una ciudad resiliente? | Revista Circle - Ecoembes. (2019). Recuperado el 21 de agosto 2019, del sitio web: <https://www.revistacircle.com/2018/11/12/ciudades-resilientes/>

¿Qué son las ciudades resilientes? (2019). Recuperado el 14 de septiembre 2019, del sitio web: <https://www.hola.com/estar-bien/20180524124117/que-son-ciudades-resilientes-gt/>

Checkers 5-Channel Grip Guard Cable Protector Default Title. (2019). Recuperado el 13 de septiembre 2019, del sitio web: https://www.rampchamp.com.au/products/checkers-5-channel-grip-guard-cable-protector?variant=35377094414&utm_medium=cpc&utm_source=Facebook&utm_campaign=FB%20Dynamic%20Re-marketing

Ciudades resilientes. (2019). Retrieved 18 August 2019, from <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/resilient-cities>

Ciudades Resilientes. (2019). Retrieved 4 September 2019, from <https://www.onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>

Coches eléctricos para salvar el planeta - Vehículo Eléctrico. (2019). Recuperado el 07 de septiembre 2019, del sitio web: <https://endesavehiculoelectrico.com/coches-electricos-para-salvar-el-planeta/>

Niveles de conducción autónoma, Recuperado el 10 de agosto 2019, del sitio web: <https://es.motor1.com/news/338087/niveles-conduccion-coche-autonomo/>

Qué es movilidad urbana | CAF. (2019). Recuperado el 07 de septiembre 2019, del sitio web: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/08/que-es-movilidad-urbana/>

Tesla's interchangeable travel-pod system shows modularity in transportation | Yanko Design. (2019). Recuperado el 18 de agosto 2019, del sitio web: <https://www.yankodesign.com/2019/01/22/teslas-interchangeable-travel-pod-system-shows-modularity-in-transportation/>

Teso, N. (2019). I.D. Buzz Concept: la furgoneta eléctrica del futuro. Recuperado el 20 de agosto 2019, del sitio web: <https://noticias.coches.com/noticias-motor/volkswagen-i-d-buzz-concept/234979>

Vasconcellos e Sá & Associates, SA - Conferences and Consultancy. (2019). Recuperado el 21 de agosto 2019, del sitio web: <https://www.vasconcellosesa.com/>

**Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial**

Trabajo Final de Graduación_Bachillerato | 2S Semestre 2019

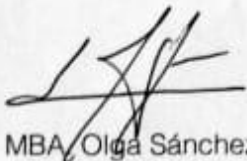
**Trabajo Final de Proyecto de Graduación
Bachillerato Ingeniería en Diseño Industrial**

Constancia de la Defensa Pública

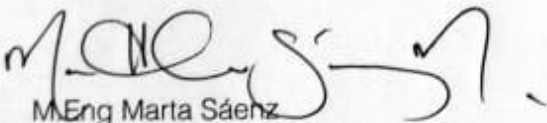
El Trabajo Final de Graduación presentado por el estudiante Fiorella Calderón Jiménez, carné 2015181034, titulado:

**Sistema de simulación de uso de un circuito para el desplazamiento autónomo
de vehículos eléctricos de carga inalámbrica**

ha sido defendido públicamente el día Lunes 25 de noviembre del año 2019 ante su Profesor Asesor y el Tribunal Evaluador.



MBA Olga Sánchez
Profesor Asesor



M.Eng Marta Sáenz
Tribunal Evaluador



MDS. Xinia Varela
Tribunal Evaluador



M.Sc. Silvia Moreira
Coordinadora Trabajo Final de Graduación_IDI